

Ekosysteemipalvelut ja elinkeinot – haavoittuvuus ja sopeutuminen muuttuvaan ilmastoon

YMPÄRISTÖN-
SUOJELU

VACCIA-hankkeen yhteenvetoraportti

Bergström Irina, Mattsson Tuija, Niemelä Eerika,
Vuorenmaa Jussi, Forsius Martin (toim.)



Ekosysteemipalvelut ja elinkeinot – haavoittuvuus ja sopeutuminen muuttuvaan ilmastoon

VACCIA-hankkeen yhteenvetoraportti

**Bergström Irina, Mattsson Tuija, Niemelä Eerika,
Vuorenmaa Jussi, Forsius Martin (toim.)**

Helsinki 2011

SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUS

Viittausohje kun viitataan koko julkaisuun:

Bergström, I., Mattsson, T., Niemelä, E., Vuorenmaa, J. & Forsius, M. (toim.). 2011. Ekosysteemipalvelut ja elinkeinot – haavoittuvuus ja sopeutuminen muuttuvaan ilmastoon. VACCIA-hankkeen yhteenvetoraportti. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. Suomen ympäristö 26/2011. 74 s.

Kun viitataan yksittäiseen lukuun, viittaus on muotoa:

Jylhä, K., Laapas, M. & Ruosteenoja, K. 2011. Ilmastoskenaariot. Julk.: Bergström, I., Mattsson, T., Niemelä, E., Vuorenmaa, J. & Forsius, M. (toim.). Ekosysteemipalvelut ja elinkeinot – haavoittuvuus ja sopeutuminen muuttuvaan ilmastoon. VACCIA-hankkeen yhteenvetoraportti. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. Suomen ympäristö 26/2011. S. 22-24.



S Y K E

SUOMEN YMPÄRISTÖ 26 | 2011

Suomen ympäristökeskus
Luontoympäristökeskus

Taitto: Seija Turunen
Kansikuva: Plugi/Mark Einborg

Julkaisu on saatavana myös internetistä:
www.ymparisto.fi/julkaisut

Vammalan kirjapaino Oy, Sastamala 2011

ISBN 978-952-11-3932-1 (nid.)
ISBN 978-952-11-3933-8 (PDF)
ISSN 1238-7312 (pain.)
ISSN 1796-1637 (verkkokj.)

ESIPUHE

Ilmastonmuutoksesta on tulossa suuri haaste ihmiselle. Ekosysteemipalvelut eli luonnon tuottamat tärkeät hyödykkeet ja palvelut ovat uhattuina kun ilmasto muuttuu. Esimerkiksi monimuotoiset ekosysteemit tai puhtaat, riittävät ja hyvälaatuiset vesivarat voivat vaarantua. Ympäristön lisäksi vaikutukset koskettavat myös elinkeinoja kuten maa-, metsä- ja kalataloutta ja luontomatkailua sekä kaupunkiympäristöjen maankäyttöä. Ilmastonmuutos vaikuttaa jo. Onko meillä mahdollisuuksia hillitä ilmastonmuutoksen vaikutuksia ja kuinka voimme tulevaisuudessa sopeutua väistämättömiin muutoksiin?

Ilmastonmuutoksen aiheuttamia uhkia ja haasteita ekosysteemipalveluille ja elinkeinoille ja niiden sopeutumiskeinoja muuttuviin olosuhteisiin on arvioitu Euroopan unionin LIFE+ -ohjelman rahoittamassa hankkeessa "Luonnon tarjoamien palveluiden haavoittuvuusarviointi ja sopeutuminen muuttuvaan ilmastoon – VACCIA". Laajassa kolmivuotisessa (2009–2011) hankkeessa oli mukana noin sata asiantuntijaa Suomen ympäristökeskuksesta, Ilmatieteen laitokselta sekä Helsingin, Jyväskylän ja Oulun yliopistoista. Asiantuntijajoukkoon kuului tutkijoita myös Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksesta ja Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksesta.

Tässä yhteenvetoraportissa esitellään VACCIA-hankkeen 13 työpaketin tärkeimmät tulokset. Toivomme raportin antavan uutta tietoa mahdollisimman laajalle lukijakunnalle ilmastonmuutoksen vaikutuksista suomalaiseseen luontoon ja luonnon ja siitä riippuvaisten elinkeinojen sopeutumismahdollisuuksista. Toivomme myös, että VACCIA-hankkeen tuloksia voidaan hyödyntää sekä alueellisella, kansallisella että kansainvälisellä tasolla haettaessa ratkaisukeinoja yhteiseen haasteeseen.

Haluamme esittää kiitokset kaikille raportin tekemiseen osallistuneille henkilöille. Monet kiitokset myös Heikki Toivoselle Suomen ympäristökeskuksesta ja Susanna Kankaanpäälle Helsingin seudun ympäristöpalveluista sisältöön saaduista arvokkaista kommentteista.

Helsingissä, 29.11.2011

Toimittajat

Kirjoittajat, toimittajat ja heidän yhteystietonsa:

Aikio Sami, Oulun yliopisto, PL 3000, 90014 Oulun yliopisto
Anttila Pia, Ilmatieteen laitos, PL 503, 00101 Helsinki
Anttila Saku, Suomen ympäristökeskus, PL 140, 00251 Helsinki
Arvola Lauri, Helsingin yliopisto, Lammin biologinen asema, Pääjärventie 320, 16900 Lammi
Bergström Irina, Suomen ympäristökeskus, PL 140, 00251 Helsinki
Forsius Martin, Suomen ympäristökeskus, PL 140, 00251 Helsinki
Granlund Kirsti, Suomen ympäristökeskus, PL 140, 00251 Helsinki
Hakala Kaija, Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, Planta, 31600 Jokioinen
Hakola Hannele, Ilmatieteen laitos, PL 503, 00101 Helsinki
Hari Pertti, Helsingin yliopisto, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto
Heikkinen Hannu I., Oulun yliopisto, PL 1000, 90014 Oulun yliopisto
Helenius Juha, Helsingin yliopisto, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto
Hiltunen Ritva, Oulun yliopisto, PL 3000, 90014 Oulun yliopisto
Hyvärinen Marko, Helsingin yliopisto, PL 7, 00014 Helsingin yliopisto
Härmä Pekka, Suomen ympäristökeskus, PL 140, 00251 Helsinki
Jokinen Henri, Helsingin yliopisto, Tvärminnen eläintieteellinen asema, J.A. Palménin tie 260, 10900 Hanko
Jylhä Kirsti, Ilmatieteen laitos, PL 503, 00101 Helsinki
Kangas Katja, Oulun yliopisto, PL 3000, 90014 Oulun yliopisto
Karjalainen Juha, Jyväskylän yliopisto, PL 35, 40014 Jyväskylän yliopisto
Kauppila Pekka, Thule-instituutti, PL 7300, 90014 Oulun yliopisto
Keskinen Tapio, Jyväskylän yliopisto, PL 35, 40014 Jyväskylän yliopisto
Koivula Kari, Oulun yliopisto, PL 3000, 90014 Oulun yliopisto
Kolari Pasi, Helsingin yliopisto, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto
Komulainen Kati, Helsingin yliopisto, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto
Kortteinen Matti, Helsingin yliopisto, PL 18, 00014 Helsingin yliopisto
Kulonpalo Jussi, Helsingin yliopisto, PL 18, 00014 Helsingin yliopisto
Laapas Mikko, Ilmatieteen laitos, PL 503, 00101 Helsinki
Lampila Satu, Oulun yliopisto, PL 3000, 90014 Oulun yliopisto
Lépy Elise, Oulun yliopisto, PL 1000, 90014 Oulun yliopisto
Loikkanen Heikki, Helsingin yliopisto, PL 17, 00014 Helsingin yliopisto
Markkola Annamari, Oulun yliopisto, PL 3000, 90014 Oulun yliopisto
Mattsson Tuija, Suomen ympäristökeskus, PL 140, 00251 Helsinki
Miranto Mari, Oulun yliopisto, PL 3000, 90014 Oulun yliopisto
Mäkelä Annikki, Helsingin yliopisto, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto
Nevalainen Antti, Helsingin yliopisto, Tvärminnen eläintieteellinen asema, J.A. Palménin tie 260, 10900 Hanko
Niemelä Eerika, Suomen ympäristökeskus, PL 140, 00251 Helsinki
Niemelä Jari, Helsingin yliopisto, PL 65, 00014 Helsingin yliopisto
Niemelä Marika, Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, Tutkimusasemantie 15, 92400 Ruukki
Nikinmaa Eero, Helsingin yliopisto, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto
Nikula Ari, Oulun yliopisto, PL 3000, 90014 Oulun yliopisto
Nivala Vesa, Oulun yliopisto, PL 3000, 90014 Oulun yliopisto
Ojanen Hannu, Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, Datum, 31600 Jokioinen
Orell Markku, Oulun yliopisto, PL 3000, 90014 Oulun yliopisto
Pakanen Veli-Matti, Oulun yliopisto, PL 3000, 90014 Oulun yliopisto
Peltonen-Sainio Pirjo, Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, Planta, 31600 Jokioinen
Ponnikas Jouni, Oulun yliopisto, Kajaanin yliopistokeskus, PL 51, 87101 Kajaani
Pulkkanen Merja, Jyväskylän yliopisto, PL 35, 40014 Jyväskylän yliopisto
Rankinen Katri, Suomen ympäristökeskus, PL 140, 00251 Helsinki
Rautio Arja, Arktisen lääketieteen keskus, PL 7300, 90014 Oulun yliopisto
Reinikainen Marko, Helsingin yliopisto, Tvärminnen eläintieteellinen asema, J.A. Palménin tie 260, 10900 Hanko
Ruosteenoja Kimmo, Ilmatieteen laitos, PL 503, 00101 Helsinki
Ruth Olli, Helsingin yliopisto, PL 64, 00014 Helsingin yliopisto
Rytönen Seppo, Oulun yliopisto, PL 3000, 90014 Oulun yliopisto
Ryöppö Timo, Ilmatieteen laitos, PL 503, 00101 Helsinki
Sairanen Samuli, Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, Evon riistan- ja kalantutkimus, Rahtijärventie 291, 16970 Evo
Schulman Leif, Luonnontieteellinen keskusmuseo, PL 17, 00014 Helsingin yliopisto
Setälä Heikki, Helsingin yliopisto, Niemenkatu 73, 15140 Lahti
Vaattovaara Mari, Helsingin yliopisto, PL 64, 00014 Helsingin yliopisto
Vatka Emma, Oulun yliopisto, PL 3000, 90014 Oulun yliopisto
Valsta Lauri, Helsingin yliopisto, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto
Virkkula Aki, Ilmatieteen laitos, PL 503, 00101 Helsinki
Vuorenmaa Jussi, Suomen ympäristökeskus, PL 140, 00251 Helsinki
Yli-Pelkonen Vesa, Helsingin yliopisto, PL 65, 00014 Helsingin yliopisto

SISÄLLYS

Esipuhe	3
Kirjoittajat ja heidän yhteystietonsa	4
Sisällys	5
Laaja yhteenveto	7
I Johdanto	17
1.1 Ekosysteemipalvelut ja muuttuva ilmasto	17
1.2 VACCIA-hanke	18
2 Muutosten ennustaminen ja seuraaminen	22
2.1 Ilmastoskenaariot	22
2.1.1 Ilmastojärjestelmän tutkimus	22
2.1.2 Odotettavissa olevat muutokset	23
2.1.3 Ennusteiden epävarmuus päätöksenteon kannalta	24
2.1.4 Keskeiset tutkimus- ja selvitystarpeet	24
2.2 Ilmanlaatuskenaariot	25
2.2.1 Ilmansaasteet kulkeutuvat laajalle	25
2.2.2 Mallit ennustavat muutoksia saasteiden kulkeutumisreitteihin	26
2.2.3 Keskeiset tutkimus- ja selvitystarpeet	27
2.3 Kaukokartoitus, paikkatiedot ja maankäytön muutokset	27
3 Ekosysteemipalvelut muuttuvat ja haavoittuvat ilmaston lämmetessä	30
3.1 Ekosysteemipalvelut ja niiden keskeiset kynnysarvot	30
3.2 Valuma-alueet ja vesistöt	31
3.2.1 Valuma-alueiden ekosysteemipalvelut ja niiden haavoittuvuus	31
3.2.2 Rehevöityminen ja hydrologisen vuosikierron muutokset ovat uhka ja haaste vesistöjen ekosysteemipalveluille	32
3.2.3 Kohdennettuja vesiensuojelutoimia	33
3.2.4 Keskeiset tutkimus- ja selvitystarpeet	33
3.3 Rannikkoalueet	34
3.3.1 Läntisellä Suomenlahdella ilmaston muuttuminen heijastuu jo lajistoon	34
3.3.2 Perämerellä niittyvyöhyke kapenee ja tuulitulvat yleistyvät	36
3.4 Kaupunkiympäristöt	39
3.4.1 Muutokset kaupunkiympäristön ekosysteemipalveluissa	39
3.4.2 Kaupunkirakenteen tiivistyminen tulevaisuuden haasteena	40
3.4.3 Keskeiset tutkimus- ja selvitystarpeet	41
3.5 Monimuotoisuuden <i>ex situ</i> -suojelu ekosysteemipalvelujen turvaajana	41
3.5.1 Toimintaohjelmalla kohti tavoitetta	42
3.5.2 Lisätutkimukset ja -selvitykset	42
4 Elinkeinojen on sopeuduttava	43
4.1 Maatalous	43
4.1.1 Kasvukausi pitenee, kylvöt aikaistuvat	43
4.1.2 Vaihtelevat sääolot lisäävät maatalouden haavoittuvuutta	43

4.1.3 Olosuhteiden vaihtelu ja kannattavuus luovat haasteita	44
4.1.4 Sopeutumiskeinoina jalostus ja tuotannon monipuolistaminen	44
4.1.5 Keskeiset tutkimus- ja selvitystarpeet	46
4.2 Metsätalous	46
4.2.1 Tapahtuneet ja odotettavissa olevat muutokset metsätaloudessa ...	46
4.2.2 Puuston kasvu kiihtyy	46
4.2.3 Ääri-ilmiöt hillitsevät metsävarojen kehitystä	47
4.2.4 Paikkalinnut muutosten kuvaajina	48
4.2.5 Nykyiset metsänhoitomenetelmät lisäävät metsien tarjoamien ekosysteemipalvelujen haavoittuvuutta tulevaisuudessa	49
4.2.6 Metsänhoitomenetelmät muutosten edessä	49
4.2.7 Toimenpiteiden ajoitus on avainasemassa sopeutumisessa	50
4.2.8 Keskeiset tutkimus- ja selvitystarpeet	51
4.3 Kalatalous	51
4.3.1 Ilmastonmuutoksen vaikutus kalakantoihin ja muutokset Päijänteen kalataloudessa	51
4.3.2 Ilmastonmuutos muuttaa saalislajisuhteita	52
4.3.3 Kalayhteisön muutokset muuttavat ammattikalastusta	52
4.3.4 Sopeutuva kalatalous	53
4.3.5 Keskeiset tutkimus- ja selvitystarpeet	54
4.4 Matkailu	54
4.4.1 Haavoittuvuuskynnysten tarkastelu	55
4.4.2 Säävaihtelut lisäävät talvimatkailun riskejä	55
4.4.3 Tärkeimmät sopeutumisen haasteet	55
4.4.4 Matkailupalveluiden kehittäminen sopeutumiskeinona	57
4.4.5 Keskeiset tutkimus- ja selvitystarpeet	57
5 VACCIA-hankkeen tuloksista tiedottaminen ja tulosten esittely	58
LIITTEET	
Liite 1. Suomen pitkäaikaisen ympäristötutkimuksen verkosto FinLTSEr	60
Liite 2. VACCIA — keskeiset tulokset ja johtopäätökset	61
Liite 3. VACCIA — keskeiset sopeutumishaasteet ja -suositukset	64
Liite 4. VACCIA — tärkeimmät tutkimus- ja selvitystarpeet	66
Liite 5. VACCIA-hankkeen organisaatio	68
Liite 6. VACCIA — tuotteet ja julkaisut aihepiireittäin	69
KUVAILULEHTI	72
PRESENTATIONSBLAD	73
DOCUMENTATION PAGE	74

LAAJA YHTEENVETO

Martin Forsius

Suomen luonnon tuottamien ekosysteemipalvelujen haavoittuvuutta ja ihmisen sopeutumismahdollisuuksia ilmaston muuttuessa selvitettiin Euroopan unionin (EU) LIFE+ -ohjelman VACCIA-hankkeessa (Vulnerability Assessment of Ecosystem Services for Climate Change Impacts and Adaptation (VACCIA); Luonnon tarjoamien palveluiden haavoittuvuusarviointi ja sopeutuminen muuttuvaan ilmastoon; hanke LIFE07 ENV/FIN/000141)¹. Laajassa vuosina 2009–2011 toteutetussa hankkeessa olivat mukana Suomen ympäristökeskus (SYKE), Ilmatieteen laitos sekä Helsingin, Jyväskylän ja Oulun yliopistot. VACCIA-hankkeen ydinalueina olivat yhdeksän Suomen kansallisen tason tutkimusinfrastruktuuriin (FinLTSER) kuuluvaa pitkäaikaisen ympäristötutkimuksen verkoston intensiivialuetta². Seuraava yhteenveto on tiivistelmä VACCIA-hankkeesta saaduista tuloksista ja johtopäätöksistä. Paitsi käsillä olevassa raportissa esitetyjä tuloksia, tässä yhteenvedossa on käytetty hyväksi myös VACCIA-hankkeesta tuotettuja julkaisuja ja muita tuotteita (Liite 6).

VACCIA-hankkeen keskeiset tavoitteet:

- Tuottaa ympäristömuutoksia kuvaavia realistisia skenaarioita.
- Esitellä ja kehittää kaukokartoitusaineiston (GMES) käyttöä ekosysteemipalveluiden ja niiden muutosten arvioinnissa.
- Kehittää mallinnus-, paikkatieto- ja tietokantasovelluksia ekosysteemimuutosten arvioimiseksi.
- Arvioida kuinka ilmaston lämpeneminen muuttaa ekosysteemipalveluja ja tunnistaa muutosten kynnsarvoja.
- Selvittää keinoja, joilla ihminen voi sopeuttaa toimintaansa muuttuviin olosuhteisiin.
- Välittää hankittua tietoa kansalaisille ja päättäjille.
- Tukea alue- ja paikallistason suunnittelua ja päätöksentekoa, jotta ilmaston muuttumisen seuraukset luonnossa ja elinkeinojen harjoittamiselle voidaan ennakoida mahdollisimman ajoissa.
- Tuottaa tietoa kansallisten ja EU-sopeutumisstrategioiden toimenpianoa ja päivitystä varten.

Ilmastomuutoksen hillintä ja siihen sopeutuminen ovat toisiaan täydentäviä strategioita. Sekä nykyiset ilmaston vaihtelut että tulevaisuudessa myös yhä enemmän muuttuvat ilmasto-olosuhteet edellyttävät hallittua sopeutumista. Sopeutumisen kannalta vaikutusten ääriarvoilla ja ekosysteemien kynnsarvoilla on suuri merkitys. Ilmaston muuttumisen vuoksi ääriarvojen esiintymisen todennäköisyys usein kasvaa. Kynnsarvot liittyvät systeemien muutosherkkyyteen ja ekologinen kynnsarvo voidaan määritellä muutokohdaksi, jossa suhteellisen pieni ulkoisten olojen muutos aiheuttaa rajun ja äkillisen muutoksen ekosysteemissä. VACCIA-hankkeessa ekosysteemimuutoksia ja kynnsarvoja tarkasteltiin sekä matemaattisten mallien, mitausaikasarjojen, laboratoriokokeiden että työpajatyöskentelyn avulla.

1 www.ymparisto.fi/syke/vaccia; www.miljo.fi/syke/vaccia; www.environment.fi/syke/vaccia, 15.11.2011

2 www.ymparisto.fi/syke/ltser, 15.11.2011

Keskeisten ekosysteemipalvelujen haavoittuvuudesta ja sopeutumismahdollisuuksista tarvitaan tietoa kun kehitetään valtakunnallista ja alue- ja paikallistason ympäristöpolitiikkaa. VACCIA-hankkeen kannalta keskeisiä kansallisia ja kansainvälisiä politiikkaprosesseja ovat:

- Kansallinen ilmastomuutoksen sopeutumisstrategia³ ja sen uudistamisprosessi. Sopeutumisstrategian linjaukset on vahvistettu kansallisissa ilmasto- ja energiastrategioissa^{4,5} sekä valtioneuvoston ilmasto- ja energiapolitiisessa tulevaisuusselonteossa⁶.
- Euroopan komission sopeutumisen Valkoinen kirja⁷. Valkoisessa kirjassa todetaan mm., että tarvitaan kattava ja yhdenmukainen lähestymistapa ekosysteemien ja niistä saatavien tuotteiden ja palvelujen säilyttämiseen ja parantamiseen. Tavoitteena on EU:n sopeutumisstrategian valmistelu ja sen toimeenpanon aloittaminen vuonna 2013.
- Euroopan komission tiedonanto — Biologisen monimuotoisuuden vähene-
misen pysäyttäminen vuoteen 2010 mennessä — ja sen jälkeen; Ekosysteemi-
palvelujen säilyttäminen ihmisten hyvinvoinnin varmistamiseksi⁸. Tiedonan-
nossa yksilöidään tärkeimmät toiminta-alueet ja niihin liittyvät tavoitteet sekä
tuetaan toimenpiteitä, joilla voidaan saavuttaa vuotta 2010 koskevat tavoitteet
ja käynnistää biologisen monimuotoisuuden ennalleen saattaminen.
- Euroopan komission tiedonanto — Luonnonpääoma elämämme turvaajana:
luonnon monimuotoisuutta koskeva EU:n strategia vuoteen 2020⁹. Strategialla
pyritään kääntämään luonnon monimuotoisuuden heikkenemissuuntaus ja
nopeuttamaan EU:n siirtymistä kohti resurssitehokasta ja ympäristöä vähem-
män kuormittavaa taloutta.

VACCIA-hankkeen tuloksia on jo hankkeen aikana hyödynnetty kansallisen ilmastomuutoksen sopeutumisstrategian uudistamisessa ja tulokset palvelevat myös EU-strategioiden kansallista toimeenpanoa. Hankkeessa tehty monimuotoisuuden *ex situ* -suojelutavoitteiden arviointi on palvellut kansainvälisen biodiversiteettisopimuksen (Convention on Biological Diversity, CBD)¹⁰ osapuolisopimuksen velvoitteiden toteuttamista. Paikallisen tason kehittämistyötä on tuettu arvioimalla mm. luontoperustaisen matkailun haavoittuvuutta ja sopeutumista Kuusamon ja Sotkamon alueilla. Hankkeessa kehitettyjen ja dokumentoitujen mallintamis-, paikkatieto- ja tietokantasovellusten avulla vastaavia ekosysteemipalveluarviointeja voidaan tehdä myös muilla alueilla.

3 Marttila, V., Granholm, H., Laanikari, J., Yrjölä, T., Aalto, A., Heikinheimo, P., Honkatuki, J., Järvinen, H., Liski, J., Merivirta, R., & Paunio, M. 2005. Ilmastomuutoksen kansallinen sopeutumisstrategia. MMM:n julkaisuja 1/2005. Vammalan kirjapaino Oy, Vammala. 272 s.

4 Lähiajan energia- ja ilmastopolitiikan linjauksia – kansallinen strategia Kioton pöytäkirjan toimeenpanemiseksi. Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 24 päivänä marraskuuta 2005. KTM Energiaosasto. Julkaisuja 25/2005. Edita Publishing Oy, Helsinki. 121 s.

5 Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia. Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 6. päivänä marraskuuta 2008. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja. Energia ja ilmasto. 36/2008. Edita Publishing Oy, Helsinki. 159 s.

6 Valtioneuvoston selonteko ilmasto- ja energiapolitiikasta: kohti vähäpäästöistä Suomea. Valtioneuvoston kanslian julkaisusarja 28/2009. Yliopistopaino, Helsinki. 180 s. 978-952-5807-65-3.

7 Valkoinen kirja. Ilmastomuutoksen sopeutuminen: Kohti eurooppalaista toimintakehystä. Bryssel 1.4.2009. KOM(2009) 147. 20 s.

8 Biologisen monimuotoisuuden vähenemisen pysäyttäminen vuoteen 2010 mennessä – ja sen jälkeen. Ekosysteemipalvelujen säilyttäminen ihmisen hyvinvoinnin turvaamiseksi. Bryssel 22.5.2006. KOM(2006) 216 lopullinen. 17 s.

9 Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle sekä alueiden komitealle. Luonnonpääoma elämämme turvaajana: luonnon monimuotoisuutta koskeva EU:n strategia vuoteen 2020. Bryssel 3.5.2011. KOM(2011) 244 lopullinen. 18 s.

10 Secretariat of the Convention on Biological Diversity 2002. Global strategy for Plant conservation. Montreal. 13 s.

Välineitä ekosysteemimuutoksen havaitsemiseen ja ennustamiseen: ilmasto- ja ilmanlaatuskenaariot sekä kaukokartoitus

VACCIA-hankkeessa käytetyt ilmastoskenaariot perustuivat yleensä usean numeerisen ilmastomuutosmallin (General Circulation Model; GCM) tuloksiin ja kolmeen eri IPCC-päästöskenaarioon (Special Report Emission Scenarios SRES A1B, A2 and B1). Skenaarioita käytettiin hankkeessa sovellettujen ekosysteemimallien syöttötietoina ja vaikutusten arviointityössä. Aineisto tuotettiin sekä aikasarjoina että 30 vuoden keskiarvoina vuosille 2010–2039, 2020–2049, 2040–2069 ja 2070–2099. Koska muutokset ovat hitaita ja voivat hukkua ilmaston luonnollisen vaihtelun lomaan, ennusteisiin sisältyy epävarmuutta. Keskeiset yleiset johtopäätökset:

- Ilmasto lämpenee talvella enemmän kuin kesällä, kesällä kuumat päivät yleistyvät ja kuumat jaksot pitenevät, terminen eli lämpötilojen mukaan määritelty talvi lyhenee ja kesä ja kasvukausi pitenee.
- Sademäärät lisääntyvät: suhteellinen muutos on suurempi pohjoisessa kuin etelässä, runsassateisten päivien määrä lisääntyy kaikkina vuodenaikoina, etelässä poutajaksot voivat pidentyä.
- Lumipeite vähenee etenkin etelässä, mutta Lapissa satavan lumen määrä voi kasvaa keskitalvella.
- Talvella suhteellinen kosteus voi nousta.
- Syys-huhtikuussa keskimääräinen tuuli voimistuu muutamia prosentteja.
- Routakerros hupenee.
- Talvet muuttuvat pilvisemmiksi.

Ilmanlaadun muutoksia pohjoisilla alueilla arvioitiin Ilmatieteen laitoksen ylläpitämän huippuvarustetun, Länsi-Lapissa sijaitsevan Pallaksen mittausaseman tulosten ja yhdenmukaisen mallijärjestelmien avulla. Mittaustulosten ja mallien avulla on saatu paljon tietoa eri yhdisteiden nykyisistä ja tulevista kulkeutumisreiteistä ja ilmanlaadun trendeistä. Keskeiset tulokset ja johtopäätökset ovat:

- Venäjän kupari-nikkeli-teollisuus tuottaa erityisesti rikkidioksidi- ja raskasmetallipäästöjä arktisen alueen ilmakehään.
- Viimeisten 10–20 vuoden aikana ilmanlaadun kehitys Pallaksen alueella on ollut suhteellisen myönteinen. Arvioituista 57 eri yhdisteen aikasarjasta löytyi 24 laskevaa pitoisuustrendiä. Tilastollisesti merkitseviä muutoksia ei havaittu 32 yhdisteen kohdalla. DDD:n (dikloorifenyylidikloorietaani, DDT:n hajoa-mistuote) pitoisuus oli kuitenkin kasvussa.
- Ilmastomallit ennustavat lieviä muutoksia ilmamassojen kulkeutumiseen Pohjois-Suomeen. Nykyisinkin vallitsevat luoteiset ilmavirtaukset tulevat yleistymään edelleen, mutta myös läntiset ja eteläiset ilmavirtaukset yleistyvät idänpuoleisten virtausten kustannuksella. Tämä kehitys vähentää edelleen Kuolan niemimaan saasteiden kulkeutumista Pohjois-Suomeen.
- Laivojen päästöjen odotetaan kasvavan Arktisilla merialueilla jääpeitteen pienentyessä. Useiden yhdisteiden, kuten rikkidioksidin (SO₂), typen oksidien (NO_x), mustan hiilen, orgaanisen hiilen, hiilimonoksidin (CO) ja hiilidioksidin (CO₂), pitoisuuksien odotetaan kasvavan lisääntyvän laivaliikenteen seurauksena. NO_x-yhdisteiden ja mustan hiilen kuormitus Pallaksen alueella voisi tämän johdosta jopa kaksinkertaistua vuoteen 2050 mennessä.
- Kasvava typpidioksidipitoisuus saattaa lisätä otsonin muodostusta alueella, jolla otsonin muodostusta rajoittavat alhaiset typpidioksidipitoisuudet.

VACCIA-hankkeessa kehitettiin ja esiteltiin myös useita kaukokartoitus-, mallintamis-, paikkatieto- ja tietokantasovelluksia ekosysteemimuutosten arvioimiseksi:

a) Kaukokartoitusmenetelmät

Kaukokartoituksella voi sen alueellisen kattavuuden vuoksi mitata samanaikaisesti kokonaisia ekosysteemejä. Muodostamalla tulkituista satelliittikuvista aikasarjoja voidaan seurata sekä alueellisesti ja ajallisesti tapahtuvia muutoksia. VACCIA-hankkeessa kaukokartoituksen yhtenä päätavoitteena oli tarjota alueellisesti kattavaa tietoa maanpeitteessä ajallisesti tapahtuvista muutoksista ja erityisesti keskityttiin ekosysteemien vuosittaisiin lumi- ja kasvipeitteen muutoksiin. Tärkein tietolähde oli päivittäisistä keskierotuskuvyn (250–1000 m) Terra/MODIS-satelliittikuvista lasketut lumipeitto- ja kasvillisuusindeksiaikasarjat vuosille 2001–2008. Aikasarjat laskettiin viidelle eri valuma-alueelle Suomessa ja niissä viidelle eri maanpeitetyypille. Hankkeessa tuotettiin myös vedenlaadun aikasarjoja rannikko-alueille, tulkittiin viheralueiden määrää kaupunkien pienviljelmä-alueilla, tehtiin alueellisia vedenlaadutulkintoja järvi- ja järvialtailla ja tuotettiin kaukokartoituspohjaisia veden pintalämpötilan aikasarjoja Suomen suurimmille järville. Kaukokartoituksen hyödyntämismahdollisuuksia lisäävät lähitulevaisuudessa käyttöön otettavat uudet satelliitti-instrumentit, jotka antavat alueellisesti, ajallisesti ja spektraalisesti (eri aallonpituusalueiden erotuskuvyn suhteen) yhä tarkempaa tietoa.

b) VACCIA-paikkatietoportaali (<http://maps.tvvarminne.helsinki.fi>, 15.11.2011)

Hankkeessa kehitettiin rannikkoekosysteemeissä tapahtuvien tunnistamisen avuksi paikkatietoportaali yhdistämään erilaista alueellista tietoa ympäristöstä. Mukana on sekä biologisia (esim. lajiston rakenne) että fysikaalis-kemiallisia muuttujia (esim. suolaisuus, happipitoisuus ja ravinteet), joiden tiedetään reagoivan herkästi kun ilmasto muuttuu. Portaalissa on sekä tieteellistä että seurantatietoa ja se mahdollistaa uusimman tiedon toimittamisen nopeasti käyttäjien saataville.

c) Matemaattiset ekosysteemimallit

Hankkeessa havainnollistettiin useiden matemaattisten mallien käyttöä ekosysteemimuutosten, kynnysarvojen ja sopeutumistoimenpiteiden arvioinnissa:

- Valuma-aluemuutokset ja kuormitus: WSFS- ja INCA-N-mallit
- Järvien termodynamiikka ja kalastomuutokset: MyLake-malli
- Metsätalous: LIGNUM-, PipeQual- ja MicroForest-mallit

Muutokset ekosysteemeissä: valuma-alueet ja vesistöt

Useassa VACCIA:n osahankkeessa arvioitiin valuma-alueilla ja vesistöissä tapahtuvia muutoksia ja ekosysteemien sopeutumismahdollisuuksia empiirisen mittausaineiston ja mallitulosten perusteella. Pohjoisen havumetsävyöhykkeen ekosysteemit ovat herkkiä ilmasto-olosuhteiden muutoksille. Ajallisia ja määrällisiä muutoksia ennustetaan tapahtuvaksi sekä ravinteiden kiertämisessä että huuhtoumissa vesistöihin. Keskeiset tulokset ja johtopäätökset:

- Pyhäjärven Asikkalanselän vuotuisen virtaaman ennustetaan (WSFS-malli, IPPC:n A1B-skenaario) kasvavan nykyisestä noin 10 % aikajaksoon 2070–2099 mennessä. Fosforin (P), typen (N) ja kiintoaineksen kuormituksen ajallinen vaihtelu muuttuu: keväinen maksimikuormitus pienenee ja muuten kuormitus lisääntyy talvella ja pienenee kesällä. Mikäli maankäyttö ei muutu merkittävästi, fosforin ja typen vuotuinen kokonaiskuorma muuttuu saman ennusteen mukaan kuitenkin suhteellisen vähän: 228 -> 230 kg P vrk⁻¹ ja 9400 -> 9500 kg N vrk⁻¹. Vuosittainen kiintoainekuormitus kasvaa vastaavasti 740 -> 920 kg vrk⁻¹.

- Järvien lämpöolosuhteissa ja kerrostumisessa ennustetaan suuria muutoksia. Mittaustulosten perusteella jääpeiteinen aika on jo lyhentynyt viimeisten 20 vuoden aikana Hämeessä sekä Lammin Pääjärven Padasjoella Evon metsäalueella sijaitsevalla Valkea-Kotisella.
 - MyLake-järvimallin tulosten perusteella Päijänteen päällysveden lämpötila nousee nykyisestä 2-3 °C aikajaksoon 2070–2099 mennessä. Vastaavasti talviaikaista jääpeitettä ei muodostu joka vuosi tai jääpeite saattaa muodostua ja sulaa useita kertoja saman talven aikana. Pääjärveltä ja Valkea-Kotiselta saatiin samaa mallia käyttäen vastaavia tuloksia.
 - Ilmastomuutoksen edetessä vesistöjen tuottamat ekosysteemipalvelut ovat erityisen haavoittuvia pinta-alaltaan pienissä ja matalissa järvissä.
- Valkea-Kotisen valuma-alue on Suomen intensiivisemmin seurattuja ja tutkittuja luonnontilaisia valuma-alueita ja se kuuluu myös Natura 2000 -alueverkostoon. VACCIA-hankkeessa alueen keskeisistä tuloksista tehtiin myös kattava erillinen arviointiraportti (ks. www.ymparisto.fi/syke/vaccia ja Liite 6).

Muutokset ekosysteemeissä: rannikkoalueet

VACCIA-hankkeessa selvitettiin monipuolisesti rannikkoalueidemme eliöstön ja fysikaalis-kemiallisten olosuhteiden muuttumista ja muutosten yhdysvaikutuksia ilmastomuutoksen edetessä. Tuloksien perusteella lajien elinympäristöt ovat jo muuttuneet ja tulevat edelleen kokemaan lisää muutoksia. Niiden myötä useiden keskeisten lajien levinneisyys, lisääntyminen ja lajistosuhteet tulevat muuttumaan tai ovat jo muuttuneet.

a) Läntinen Suomenlahti

Läntisen Suomenlahden muutoksia kuvaavia tieteellisiä pitkäaikaishavaintoja on kerätty Helsingin yliopiston Tvärminnen eläintieteellisen aseman kehittämään ja ylläpitämään VACCIA-paikkatietojärjestelmään (ks. edellä). Keskeiset tulokset ja johtopäätökset ovat:

- Veden pitkäaikaiset sameusmittaukset (1939–2007) viittaavat näkösyvyyden pienenemiseen n. 7 metristä 3,5 metriin, suurimman muutoksen alkaessa 1980 luvun keskivaiheella. Tämä merkitsee lisääntyvää rehevöitymiskehitystä. Tulvat ja sateet voivat lisätä ravinteiden ja samentavien aineiden huuhtoumia entisestään.
- Itämeren suolapitoisuudessa voidaan havaita laajaa lyhytaikaisempaa vaihtelua, mutta Suomenlahden rannikolla pitkäaikainen suuntaus on ollut heikosti laskeva. Ilmastomuutosta on esitetty suolapulssien harvinaistumisen syyksi, mutta syy-yhteys ei ole täysin selvillä.
- Itämeren muutosten yhdysvaikutukset näkyvät lajistossa selvästi.
- Vesilinnuston kevätmuutto on aikaistunut ja syysmuutto myöhentynyt ilmaston lämpenemisen johdosta. Myöhentyminen on keskimäärin 0,37 päivää/v eli 11 päivää 30 vuodessa.

b) Perämeri

Perämeren osahankkeessa keskityttiin uhanalaisen rantaniitty-lajiston muutoksiin ja uhkii Perämeren alueella. Keskeiset tulokset ja johtopäätökset:

- Ilmaston lämpenemisen myötä on odotettavissa, että Pohjanlahden pohjoisosissa vallitsevien alavien niittyjen kosteusolosuhteet muuttuvat. Erityisesti Perämerellä merivedenkorkeuden nousu hidastaa maankohoamisen aikaansaamaa uuden maarannan paljastumista ja kevätkeisäiset lyhytaikaiset tuulitulvat voivat yleistyä (tuulitulvilla tarkoitetaan veden korkeuden nousua tietynsuuntaisilla tuulilla, kun vesi patoutuu lahden pohjukkaan).

- Äärimmäisen uhanalaisen rönsysorsimon (*Puccinellia phryganodes*) kasvu-paikat keskittyvät voimakkaasti jääeroosiovaikutteisten rantojen alimmalle niittyvyöhykkeelle. Rönsysorsimoa on jäljellä koko EU:n alueella enää kaksi esiintymää, molemmat Perämerellä. Sekä rönsysorsimoa että pohjansorsimoa (*Arctophila fulva* var. *pendulina*) uhkaa paikallisesti rantaniittyjen umpeenkasvun myötä lisääntyvä kilpailu muiden heinien kanssa.
- Uhanalaisten lajien osalta myös satunnaiset tulvakatastrofit vaikuttavat entistä todennäköisemmin populaatioiden elinkykyyn ilmaston muuttuessa.
- Rantojen kahlaajista etelänsuosirri (*Calidris alpina schinzii*) on suosirrin erittäin uhanalainen alalaji, ja noin 80 % Suomen etelänsuosirreistä pesii Perämeren laidunnetuilla rantaniityillä. Tulvatuhojen lisäksi lajia uhkaa erityisesti karjanlaidunnus.

Monimuotoisuuden *ex situ* -suojelu ekosysteemipalveluiden turvaajana

Ex situ -suojelulla tarkoitetaan lajien suojelua varsinaisen elinympäristönsä ulkopuolella. Biodiversiteettisopimuksen 10. osapuolikokouksen päätöksen¹¹ mukaisesti 75 % uhanalaisista lajeista tulisi olla *ex situ* -suojelun piirissä ja 20 % mukana ohjelmissa, jotka tähtäävät lajien palauttamiseen luontoon ja luonnonpopulaatioiden vahvistamiseen. VACCIA:n Perämeri-osahankkeen yhteydessä tehtiin ensimmäinen selvitys näiden tavoitteiden toteutumisesta Suomessa ja laadittiin Suomen kansallinen kasvistonsuojelun *ex situ* -toimintaohjelma. Keskeiset tulokset ja johtopäätökset:

- Suomessa uhanalaisten luonnonkasvien *ex situ* -suojelu keskittyy Helsingin, Turun, Oulun ja Joensuun yliopistojen kasvitieteellisiin puutarhoihin.
- Suojelu on tavoitteista selvästi jäljessä, noin 18 % uhanalaisista lajeista on jonkinlaisen suojelun piirissä kun tavoite on 75 %. Suojelussa on myös laadullisia puutteita, mm. liian pienet yksilömäärät.
- Tulosten pohjalta on laadittu Suomen kansallinen kasvistonsuojelun *ex situ* -toimintaohjelma, joka sisältää 11 käytännön tavoitetta. Ohjelman yleistavoitteena on saavuttaa vuoteen 2016 mennessä 40 %:n taso Suomen uhanalaisten putkilokasvien suojelussa.

Muutokset ekosysteemeissä: kaupunkiympäristöt

Osahankkeessa tarkasteltiin maankäytön ja ilmastomuutoksen yhteisvaikutuksia kaupunkiympäristön ekosysteemipalveluille. Erityisesti selvitettiin tiiviin kaupunkirakenteen merkitystä yhdessä ilmastomuutoksen tuoman lisääntyvän sademäärän kanssa. Osahankkeen kohteiksi valittiin kolme valuma-aluetta Lahdesta ja kolme Helsingistä. Keskeiset tulokset ja johtopäätökset:

- Sademäärien kasvu ilmastomuutoksen myötä ja kiihtyvä kaupungistumisen johtavat lisääntyneeseen huleveden määrään ja sen laadun heikkenemiseen erityisesti alueilla, joilla pinnoitetun alueen osuus on suuri.
- Monin paikoin alentuneen pohjaveden tason ja huonontuneen laadun sekä erilaisten pintavesiongelmien voidaan katsoa johtuvan elävän, ”vapaasti hengittävän maaperän” puutteesta.
- Lahdessa kuukausittainen (kumulatiivinen) valunta oli tiiviin kaupunkirakenteen alueilla yli kymmenkertainen matalan tiheyden alueisiin verrattuna, Helsingissä vastaavasti n. seitsenkertainen. Huleveden (sateesta ja lumen sulamisesta peräisin oleva valumavesi taajama-alueella) sähköjohtavuus ja sameus oli selvästi alhaisempi matalan tiheyden valuma-alueilla kuin kaupunkimaisemilla valuma-alueilla.

11 10th meeting of the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity, 18 - 29 October 2010 - Nagoya, Aichi Prefecture, Japan. <http://www.cbd.int/decisions/cop/?m=cop-10>, 15.11.2011

- Maaperänäyteaineiston perusteella monet maaperän normaalisti tuottamat ekosysteemipalvelut ovat hyvin vähissä raskaasti ja tiheästi rakennetuilla kaupunkialueilla.
- Sopeutuminen ilmastonmuutokseen vaatii kokonaisvaltaista näkemystä, missä ymmärretään, että yhden hillintä- tai sopeutumistoimen liiallinen korostaminen voi pahentaa tilannetta toisaalla. Tieteellinen tutkimus on avainasemassa kyseisten ilmiöiden seurauksien ymmärtämisen perusteena.

Elinkeinojen sopeutuminen: maatalous

Viljelykasvien kasvukausi maassamme on pidentynyt keskilämpötilojen nousun myötä. Nykyisten kylvölämpötilojen perusteella arvioiden odotetaan, että kylvö aikaistuu keskimäärin viikolla vuoteen 2040 mennessä. Lämpeneminen ja pitenevä kasvukausi mahdollistavat suuremmat sadot ja laajemman viljelykasvivalikoiman mutta toisaalta satoja uhkaa sään ääri-ilmiöiden lisääntyminen (rankkasade, pitkä sadejakso, tulva, myrskyt, kuivuusjaksot). Lämpimämmässä ilmastossa myös monet tuholaiset, taudit ja rikkakasvit menestyvät entistä paremmin, ja viljely-ympäristöömme voi kotiutua uusia haitallisia tulokaslajeja.

VACCIA:n maatalous-osahankkeessa on tarkennettu ilmastonmuutostietoa Etelä-Suomessa sijaitsevalle Lepsämänjoen valuma-alueelle, joka on osa Vantaanjoen valuma-aluetta. Osahankkeen tavoitteena oli tuottaa paikallistason esimerkki ilmastonmuutoksen vaikutuksista tuotantokasvivalikoimaan, panoskäyttöön (tuotantopanosten, esim. lannoitteiden, torjunta-aineiden tms. käyttöön), ravinteiden huuhtoutumiseen ja eroosioon, biologiseen monimuotoisuuteen viljely-ympäristössä sekä maatalousekosysteemien tarjoamiin palveluihin. Lisäksi arvioitiin sopeutumistarpeita ja -mahdollisuuksia. Keskeiset tulokset ja johtopäätökset ovat:

- Hankkeessa tuotettiin peltoviljelyn neljä erilaista tulevaisuuskuva kahdelle Lepsämänjoen valuma-alueen pohjoiselle osa-alueelle kahdelle eri ajankohdalle, vuosille 2025 ja 2055. Viljelykasvilajien ja -lajikkeiden määrausuhteet on määritetty eri tulevaisuuskuviissa siten, että on otettu huomioon ilmastonmuutoksen (IPCC:n skenaarion SRES A2 mukaan) tuomat mahdollisuudet uusien lajien ja syyskylvöisten lajikkeiden käyttöönottoon sekä nykyisten lajien laajempaan viljelyyn.
- Ilmastonmuutos merkitsee uusia haasteita maatalouden vesiensuojelulle, jonka nykyiset menetelmät eivät ole olleet riittävän tehokkaita vähentämään maatalouden ravinnekuormitusta asetettujen tavoitteiden mukaisiksi edes nykyisissä olosuhteissa. Mallinnuksen mukaan ilmastonmuutos lisää tällä eroosioherkällä alueella kiintoainekuormitusta noin 15 %, mutta epäorgaanisen typen kuormitusta vain n. 5 %.

Elinkeinojen sopeutuminen: metsätalous

Osahankkeen tavoitteena oli intensiivialueiden tulosten perusteella selvittää kuinka ilmastonmuutos muuttaa biomassan tuotosta ja kasvatusolosuhteita, ja milloin ilmastonmuutokseen kannattaisi alkaa tietoisesti sopeutua. Lisäksi kehitettiin menetelmiä metsien kasvuennusteiden tekemiseksi ilmanmuutosolosuhteissa ja selvitettiin indikaattorilajien käyttöä muutosten kuvaajina. Keskeiset tulokset ja johtopäätökset:

- Ilmastonmuutoksen vaikutuksia on vaikea erottaa muista muutostekijöistä kun tarkastellaan, mitkä tekijät vaikuttavat havaittuun metsävarojen lisääntymiseen ja metsän kasvun kiihtymiseen.
- Lustosarjoja tutkittaessa ei ole löydetty viitteitä metsän kasvun kiihtymisestä, mutta viime vuosikymmeninä on havaittu puiden vuosilustojen leveyden kytkeytyneisyyden lämpötilan vaihteluun heikentyneen. Sen sijaan esimerkiksi lehtien puhkeamisen aikasarjassa kevään aikaistuminen näkyy jo.

- Suomessa metsien kasvua rajoittavat lähinnä lämpötila ja typen saatavuus, ei niinkään kuivuus. Kohonnut lämpötila kiihdyttää maaperän orgaanisen aineen hajoamista ja vapauttaa siihen sitoutunutta typpeä kasvien käyttöön. Tämä kiihdyttää puiden kasvua ja runkopuun tuotoksen nousua.
- Mallitulosten perusteella IPCC:n ilmastomuutoskenaarioista lievimmän lämpötilannousun skenaario (B1) kiihdyttäisi männikön kasvua Etelä-Suomessa 16 % ja Lapissa 31 %. Vastaavasti suurimman muutoksen skenaariolla (A2) kasvu kiihtyisi Etelä-Suomessa 40 % ja Lapissa 80 %. Pohjois-Suomen lämpötila saavuttaa tässä skenaariossa nykyisen Etelä-Suomen tason vuosisadan vaihteessa, mutta metsien kasvu jää pohjoisessa kuitenkin Etelä-Suomea alhaisemmaksi, koska siellä maaperään kertyneen orgaanisen aineen ja sitä myötä kasvuun tarvittavan typen varannot ovat Etelä-Suomen nykyistä tasoa alhaisemmat.
- Lehtipuiden kasvureaktiot ovat ilmastomuutoksen myötä herkempiä maaperän viljavuuden muutoksille. Jos typen vapautuminen kiihtyy ennustetusti, koivun kasvureaktio on mäntyä voimakkaampi.
- Paikkalinnut ovat hyviä mallilajeja tutkittaessa ilmaston ja elinympäristön muutosten vaikutuksia metsäympäristössä, sillä saman paikan ilmasto- ja maisematekijät vaikuttavat niihin ympäri vuoden. Keväiden lämpenemisen myötä hömötiaisen (*Poecile montanus*) pesintä Pohjois-Suomessa on merkitsevästi aikaistunut viimeisten 35 vuoden aikana. Ilmaston lämpenemisen mahdollisesti tuomat hyödyt eivät todennäköisesti pysty korvaamaan sopivan elinympäristön vähenemisen ja laadun heikkenemisen aiheuttamia haittoja.

Elinkeinojen sopeutuminen: kalatalous

Osahankkeen tavoitteena oli selvittää ilmastomuutoksen vaikutusta suuren järven kalayhteisöihin ja kalatalouteen sekä elinkeinon mahdollisuuksia sopeutua muutoksiin. Päijänne on Suomen syvin järvi ja sen ympärillä asuu yli 300 000 ihmistä, joille järven tuottamilla ekosysteemipalveluilla on suuri merkitys. Muutosten arvioinnissa hyödynnettiin edellä kuvattuja valuma- ja järvimallijärjestelmiä ja niiden tuloksia sekä laboratoriokokeita. Keskeiset tulokset ja johtopäätökset:

- Ennustetut lämpötilan ja jääpeitteen muutokset vaikuttavat kalojen käyttäytymiseen ja kalastukseen. Osalla kalalajeista kasvukausi voi pidentyä jopa kuukaudella. Myös vesistöjen rehevöitymisellä ja vedenlaadun muutoksilla on vaikutusta kalayhteisöön ja sitä kautta koko kalatalouteen.
- Muuttuvan ilmaston vaikutusta muikun ja siian lisääntymiseen selvitettiin laboratoriokokeilla ja mallintamalla. Tulosten perusteella vaikutukset poikasten selviytymiseen voivat olla sekä myönteisiä että kielteisiä.
- Vapaa-ajankalastuksen tärkeimpiä saalislajeja ovat ahven, hauki, kuha ja taimen. Näistä lajeista taimen saattaa kärsiä tulevaisuudessa korkeista kesälämpötiloista. Ennustetut veden lämpötilat saattavat olla niin korkeita, että lämpiminä vuosina veden lämpötila ylittää taimenen poikasten sietorajat, jolloin kasvu heikkenee ja kuolleisuus lisääntyy.
- Kuha ja ahven sen sijaan ovat lämpimän veden lajeja, jotka hyötyvät lämpötilan noususta. Mallien antamien tulosten perusteella kuhan kasvunopeus ja ravinnonkulutus kasvavat jyrkästi.
- Kalayhteisöjen muuttuminen tulevaisuudessa ahven- ja särkikalavaltaisempaan suuntaan tarkoittaa todennäköisesti ammattikalastuksessa hyödynnettävän resurssin taloudellisen arvon vähenemistä. Myös järven kerrostumisen ja talviolosuhteiden muutokset vaikuttavat ammattikalastukseen.

Elinkeinojen sopeutuminen: luontoperustainen matkailu

Osahankkeen tavoitteena oli tarkastella sekä paikallisen ekosysteemin että paikallisyhteisön kannalta kriittisiä tekijöitä, jotka vaikuttavat luontoperustaiseen matkailuun. Tulevaisuuden sopeutumistoimenpiteitä työstettiin yhdessä paikallisten matkailutoimijoiden ja sidosryhmien kanssa. Kohdealueina olivat Rukan matkailukeskus Kuusamossa ja Vuokatin matkailukeskus Sotkamossa, joita yhdistää riippuvuus luontoperustaisesta talvimatkailusta ja siten talvisista luonnonoloista Suomen itärajan läheisyydessä. Keskeiset tulokset ja johtopäätökset:

- Muuttuva sateisuus, lyhenevät ja lämpenevät talvet sekä huomattava lumi- peitteen väheneminen voivat ratkaisevasti muuttaa luontoperustaisen matkailun toimintaedellytyksiä Pohjois-Suomessa.
- Laajan kartoitus-, haastattelu- ja tiedonkeräystyön sekä työpajatyöskentelyn perusteella kerättiin tietoja haavoittuvuuskynnyksistä sekä talvi- että kesäolosuhteissa molemmilla tutkituilla alueilla. Tuloksissa korostuivat paikallistason havainnot ja huolet jotka liittyivät vesistöjen ja kosteikkojen jäätyminen kasvaneeseen epävarmuuteen sekä lisääntyneiden säävaihteluiden tuomat riskit erityisesti talvimatkailussa, liikenteessä ja markkinoinnissa.
- Riskien lisääntyminen liittyi varsinkin sään ennustettavuuden heikkenemiseen. Nämä riskit tulevat lisääntymään, mikäli ilmastonmuutosskenaariot toteutuvat.

VACCIA-hankkeessa tunnistetut sopeutumishaasteet, annetut sopeutumisssuosituksiset sekä ehdotetut lisätutkimustarpeet

Tuloksista johdetut keskeiset sopeutumishaasteet ja -suositukset on koottu liitetaulukkoon 3. Niiden perusteella on laadittu lista tarvittavista lisätutkimuksista ja -selvityksistä, joita sopeutumishaasteisiin vastaaminen edellyttää. Lisätutkimustarpeet on esitetty liitetaulukossa 4.

VACCIA-hankkeen tuloksista tiedottaminen ja tulosten esittely

EU Life+ -ohjelman tavoitteiden mukaisesti VACCIA-hankkeessa painotettiin erityisesti hankkeen tulosten levittämistä ja tuloksista tiedottamista.

Tuotetut raportit:

- Yhteenvetoraportti
- Valkea-Kotisen alueen 20-vuotisraportti
- Yleistajuinen katsaus (ns. Layman's report)
- Osahankkeiden raportteja, selvityksiä ja tutkimuksia 61 kpl
- Hankkeen alku- ja loppuesite

Järjestetyt seminaarit ja työpajat:

- Kansallinen loppuseminaari
- Osahankkeiden seminaarit ja työpajat 13 kpl

Esitykset kansallisissa ja kansainvälisissä seminaareissa ja kongresseissa: 10 kpl

Tulosten esittely tiedotusvälineissä:

- Valtakunnalliset ja alueelliset lehdet 27 kpl
- Paikallislehdet 17 kpl
- Radio 4 kpl
- Televisio 1 kpl
- Messut ja muut yleisötapaukset 6 kpl
- Tiedotteet ja uutiset Internetissä 7 kpl

Internetsivut ja -portaalit (kaikki 15.11.2011):

- www.ymparisto.fi/syke/vaccia Hankkeen kotisivut (suomi)
- www.miljo.fi/syke/vaccia Hankkeen kotisivut (ruotsi)
- www.environment.fi/syke/vaccia Hankkeen kotisivut (englanti)
- <http://maps.tvvarminne.helsinki.fi> VACCIA paikkatietoportaali rannikko-ekosysteemien muutosten tunnistamiseksi
- <http://vaccia7.maat.helsinki.fi/> Lepsämäjoen pitkäaikaisen sosio-ekologisen tutkimuksen verkosto
- <http://thule.oulu.fi/vaccia/> Oulun yliopiston VACCIA-kotisivut
- <http://litdb.fmi.fi/vaccia/database/> VACCIA-ilmanlaatatietoportaaali, Ilmatieteen laitos, Pallas-Sodankylän GAW-asema

Muut tuotteet:

- Tuotettu aineistoja kansalliseen ilmastonmuutosportaaliin, www.ilmasto-opas.fi, 15.11.2011

1 Johdanto

I.1

Ekosysteempipalvelut ja muuttuva ilmasto

Martin Forsius

Ekosysteempipalvelut ovat elävän luonnon ihmisille tuottamia aineettomia tai aineellisia hyötyjä. Ruoan ja raaka-aineiden tuotanto, puhdas vesi ja ilma, virkistymisen sekä monet elinkeinot ovat suoraan riippuvaisia maaperän, vesistöjen ja metsien tarjoamista ekosysteempipalveluista. Koska ekosysteempipalveluiden tuotanto puolestaan riippuu niiden taustalla olevista ekologisista prosesseista ja luonnon monimuotoisuudesta, on tärkeää ymmärtää luonnon hyödyntämisen ja ekosysteemien tilan väliset suhteet. Ekosysteempipalvelut on nuori, vasta 2000-luvulla vakiintunut käsite, mutta tieteellisessä ajattelussa sen juuret voidaan jäljittää 1950-luvulle. Ekosysteempipalveluiden kestävä hallinta edellyttää, että ekosysteemien toiminta, muutospaineet ja yhteiskunnan eri toimijoiden kokemat hyödyt ymmärretään. Laajassa kansainvälisessä Millennium Ecosystem Assessment -ekosysteempipalveluarvioinnissa¹² todettiin, että arvioiduista 24:stä keskeisestä ekosysteempipalvelusta 15 osoitti merkittävää vähenemistä eri puolilla maailmaa. Ainoastaan neljän palvelun kohdalla tilanne oli parantunut viimeisten 50 vuoden aikana. Yleisesti käytössä olevan Millennium Ecosystem Assessment -luokituksen mukaan ekosysteempipalvelut jaotellaan tuotanto-, säätely-, kulttuuri- ja tukipalveluihin (Taulukko 1). Suomesa ensimmäinen kattava katsaus maamme kykyyn sopeutua ilmastonmuutokseen tehtiin Suomen ympäristökeskuksen koordinoimassa FINADAPT-hankkeessa vuonna 2007¹³.

Taulukko 1. Ekosysteempipalvelujen määrittelyä Millennium Ecosystem Assessment -luokituksen pohjalta.

TUKIPALVELUT Uuden maannoksen muodostuminen Suojapaikkatoiminto Ravinteiden säätely/kierrätys Hiilensidonta Fotosynteesi	TUOTANTOPALVELUT Ruoka Luonnosta saatava ruoka (riista, kalat, marjat, sienet) Maataloudessa tuotettu ruoka (vilja, liha, hedelmät, kasvikset, ml. kasvihuoneet) Raaka-aineet Kuidut Bioenergia Puuraaka-aine Geenivarannot Esim. satokasvien vastustuskyky taudeille Lääkeaineet, biokemikaalit
	SÄÄTELYPALVELUT Ilman laadun säätely Hengitettävä ilma Ilman puhtaus Ilmaston säätely Ihmiselle suotuisa ilmasto Vesien säätely (ml. puhdistus ja varastointi) Talousvesi, kasteluvesi, teollinen käyttö Ravinteiden ja epäpuhtauksien puhdistaminen vedestä Kasvien pölytys Biologinen kontrolli Tuhoeläinten ja tautien kontrollointi
	KULTTUURIPALVELUT Esteettisyys Henkiset, uskonnolliset ja historialliset arvot/informaatio Kulttuurinen ja taideinformaatio Tiede ja kasvatusta Virkistyttyminen ja ekoturismi Luonnon itseisarvo

12 Millennium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC. 160 s.

13 Carter, T. (toim.) 2007. Suomen kyky sopeutua ilmastonmuutokseen: FINADAPT. Yhteenveto päätäjille. Suomen ympäristö 1/2007. ss. 1-38.

Ilmastomuutoksesta on tulossa suuri haaste myös ekosysteemipalveluiden tuotannolle. Kasvihuoneilmiön voimistuessa etenkin pohjoiset maa-alueet lämpenevät. Keskilämpötilan ohella muuttuvat myös vuorokauden ylimmät ja alimmat lämpötilat, sateisuus, lumipeite, terminen kasvukausi ja muut ilmastoamme luonnehtivat suureet (ks. 2.1). Ilmastomuutoksesta koituvien haittojen vähentäminen ja sen luomien mahdollisuuksien hyödyntäminen edellyttävät hallittua sopeutumista jo muuttuneisiin ja tulevaisuudessa yhä enemmän muuttuviin ilmasto-olosuhteisiin. Vaikutukset koskettavat kaikkia toimialoja, niin maa-, metsä- ja kalataloutta, luontomatkailua kuin kaupunkiympäristöjen maankäyttöäkin. Jo nykyisissä olosuhteissa on syytä varautua sään ja ilmaston vaihteluihin sekä ääri-ilmiöihin, sillä se auttaa sopeutumaan tuleviin ilmaston vaihteluihin ja muutoksiin.

Ekosysteemivaikutusten ja sopeutumismahdollisuuksien arvioimiseksi tarvitaan tietoa:

- muutosten todennäköisyydestä
- eri ekosysteemipalveluiden haavoittuvuudesta
- sopeutumismahdollisuuksista eri maantieteellisillä alueilla.

Vuonna 2005 laaditun ilmastomuutoksen kansallinen sopeutumisstrategian¹⁴ keskeisin linjaus on ilmastomuutokseen sopeutumisen kytkeminen osaksi toimialojen tavanomaista suunnittelua, toimeenpanoa ja kehittämistä. Sopeutumisstrategian linjaukset on vahvistettu kansallisissa ilmasto- ja energiastrategioissa vuosina 2005 ja 2008 sekä hallituksen ilmasto- ja energiapolitiisessa tulevaisuusselonteossa vuonna 2009. Sopeutumisen merkitys on korostunut uudella tavalla myös Euroopan unionin (EU) politiikassa. Euroopan komission sopeutumisen valkoisessa kirjassa¹⁵ todetaan muun muassa, että tarvitaan kattava ja yhdenmukainen lähestymistapa ekosysteemien ja niistä saatavien tuotteiden ja palvelujen säilyttämiseen ja parantamiseen. Tavoitteena on EU:n sopeutumisstrategian valmistelu ja sen toimeenpanon aloittaminen 2013. Luonnon monimuotoisuutta koskevassa uudessa, vuoteen 2020 ulottuvassa EU:n strategiassa korostetaan myös monimuotoisuuden ja ekosysteemipalvelujen merkitystä ilmastomuutoksen hillitsemisessä ja siihen sopeutumisessa¹⁶.

1.2

VACCIA-hanke

Martin Forsius

Suomen luonnon tuottamien ekosysteemipalvelujen haavoittuvuutta ja ihmisen sopeutumismahdollisuuksia selvitettiin EU:n LIFE+ -ohjelman VACCIA-hankkeessa (Vulnerability Assessment of Ecosystem Services for Climate Change Impacts and Adaptation (VACCIA); Luonnon tarjoamien palvelujen haavoittuvuusarviointi ja sopeutuminen muuttuvaan ilmastoon; hanke LIFE07 ENV/FIN/000141) vuosina 2009–2011¹⁷. Laajassa hankkeessa olivat mukana Suomen ympäristökeskus (SYKE), Ilmatieteen laitos sekä Helsingin, Jyväskylän ja Oulun yliopistot.

Ekosysteemipalvelujen ja ympäristömuutosten väliset kytkennät ovat erittäin monimutkaisia, joten muutosten luotettava arviointi ja ennustaminen edellyttää

14 Marttila, V., Granholm, H., Laanikari, J., Yrjölä, T., Aalto, A., Heikinheimo, P., Honkatuki, J., Järvinen, H., Liski, J., Merivirta, R., & Paunio, M. 2005. Ilmastomuutoksen kansallinen sopeutumisstrategia. MMM:n julkaisuja 1/2005. Vammalan kirjapaino Oy, Vammala. 272 s.

15 Valkoinen kirja. Ilmastomuutokseen sopeutuminen: Kohti eurooppalaista toimintakehystä. Bryssel 1.4.2009. KOM(2009) 147. 20 s.

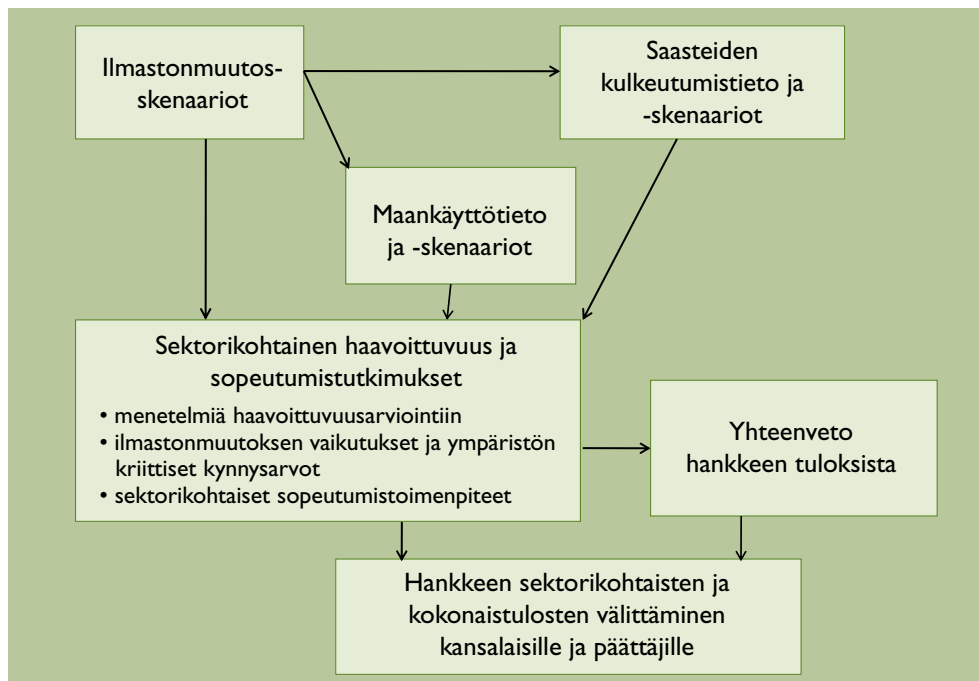
16 Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle sekä alueiden komitealle. Luonnonpääoma elämämme turvaajana: luonnon monimuotoisuutta koskeva EU:n strategia vuoteen 2020. Bryssel 3.5.2011. KOM(2011) 244 lopullinen. 18 s.

17 www.ymparisto.fi/syke/vaccia, 15.11.2011

monipuolista ja syvällistä taustatietoa. Tämän vuoksi VACCIA-hankkeen ydinalueina olivat yhdeksän kansallista pitkäaikaisen sosio-ekologisen ympäristötutkimuksen verkoston aluetta¹⁸ (Finnish Long-Term Socio-Ecological Research network, FinLTSER). FinLTSER-verkosto (Liite 1) on perustettu v. 2006 ja sen korkeatasoisesti ja monipuolisesti varustelluilta tutkimus- ja seuranta-alueilta oli jo valmiiksi saatavissa runsaasti taustatietoa. Verkostossa laajapohjaiset tutkimuslaitosten ja yliopistojen yhteenliittymät tekevät yhteistyössä tutkimusta ja seuranta-alueilla jotka kattavat maaekosysteemejä, makeanveden ja murtoveden ekosysteemejä sekä maatalous- ja kaupunkiympäristöjä. Perinteisen ekologisen ja luonnontieteellisen tutkimuksen lisäksi laajemmissa aluekokonaisuuksissa on mukana myös vahva yhteiskunnallinen näkökulma sosio-ekonomisen tutkimuksen myötä. Tutkimusyhteenliittymät muodostuvat yliopistoista, valtion sektoritutkimuslaitoksista, kunnista ja yksityisistä yhteisöistä ja yrityksistä. FinLTSER-verkoston kansallinen koordinaattori on SYKE.

FinLTSER-verkosto sekä siihen läheisesti liittyvä kansainvälinen LifeWatch-hanke¹⁹ on hyväksytty Suomen kansallisen tason tutkimusinfrastruktuuriksi (tutkimusinfrastruktuurilla tarkoitetaan palveluita ja rakenteita, jotka mahdollistavat tutkimuksen tekemisen). Ne on myös valittu Tieteellisten Seurain Valtuuskunnan (TSV) koordinoimassa prosessissa joulukuussa 2008 tutkimusinfrastruktuurien tiekartalle. Tiekartalle valittuja hankkeita pidetään tutkimuksen kannalta kansallisesti erityisen merkittävänä.

VACCIA-hankkeessa arvioitiin ilmastomuutoksen vaikutusta keskeisiin ekosysteemipalveluihin ja useisiin elinkeinoihin. Hankkeessa kehitettiin myös menetelmiä ja työkaluja maankäytön muutosten ja ilmansaasteiden vaikutusten analysointiin ja erilaisten ympäristömuutoksia kuvaavien skenaarioiden yhteisvaikutusten arviointiin (Kuva 1). Hankkeessa pyrittiin tuottamaan sekä sektorikohtaista että kokonaisvaltaista tietoa ympäristömuutosten vaikutuksista ja sopeutumismahdollisuuksista.



Kuva 1. VACCIA-hankkeen yleinen viitekehys ja ympäristömuutosta kuvaavien skenaarioiden yhteydet.

18 Suomen pitkäaikaisen ympäristötutkimuksen verkosto FinLTSER, www.ymparisto.fi/syke/1ter.

19 Lifewatch, e-science and technology infrastructure for biodiversity data and ecosystem research. www.lifewatch.eu

Hankkeen keskeiset tavoitteet olivat:

- Tuottaa ympäristömuutoksia kuvaavia mahdollisimman todenmukaisia skenaariota.
- Havainnollistaa kaukokartoitusaineiston (GMES) käyttöä ekosysteemipalveluiden ja niiden muutosten arvioinnissa.
- Kehittää mallintamis-, paikkatieto- ja tietokantasovelluksia ekosysteemimuutosten arvioimiseksi.
- Arvioida kuinka ilmaston lämpeneminen muuttaa ekosysteemipalveluja ja tunnistaa muutosten kynnsarvoja.
- Selvittää keinoja, joilla ihminen voi sopeuttaa toimintaansa muuttuviin olosuhteisiin.
- Välittää hankittua tietoa kansalaisille ja päättäjille.
- Tukea kansallisen, alue- ja paikallistason suunnittelua ja päätöksentekoa.
- Tuottaa tietoa kansallisten ja EU-sopeutumisstrategioiden toimeenpanoa ja päivitystä varten.

Ilmastonmuutoksen hillintä ja siihen sopeutuminen ovat toisiaan täydentäviä strategioita. Sekä nykyiset ilmaston vaihtelut että tulevaisuudessa myös yhä enemmän muuttuvat ilmasto-olosuhteet edellyttävät hallittua sopeutumista. Sopeutumisen kannalta vaikutusten ääriarvoilla ja ekosysteemien kynnsarvoilla on suuri merkitys. Ilmaston muuttuessa ääriarvojen esiintymisen todennäköisyys usein kasvaa. Kynnsarvot liittyvät systeemien muutosherkkyyteen ja ekologinen kynnsarvo voidaan määritellä muutoskohdaksi, jossa suhteellisen pieni ulkoisten olojen muutos aiheuttaa rajun ja äkillisen muutoksen ekosysteemissä. VACCIA-hankkeessa ekosysteemimuutoksia ja kynnsarvoja tarkasteltiin sekä matemaattisten mallien, mittausaikasarjojen, laboratoriokokeiden että työpajatyöskentelyn avulla.

Tietoja keskeisten ekosysteemipalvelujen haavoittuvuudesta ja sopeutumismahdollisuuksista tarvitaan ympäristöpolitiikan kehittämisessä. VACCIA-hankkeen kannalta keskeisiä politiikkaprosesseja kansallisella ja kansainvälisellä tasolla ovat:

- Ilmastonmuutoksen kansallinen sopeutumisstrategia²⁰ ja sen uudistamisprosessi. Sopeutumisstrategian linjaukset on vahvistettu kansallisissa ilmasto- ja energiastrategioissa^{21,22} sekä hallituksen ilmasto- ja energiapolitiisessa tulevaisuusselonteossa²³.
- Euroopan komission sopeutumisen valkoinen kirja²⁴. Valkoisessa kirjassa todetaan mm. että tarvitaan kattava ja yhdenmukainen lähestymistapa ekosysteemiin ja niistä saatavien tuotteiden ja palvelujen säilyttämiseen ja parantamiseen. Tavoitteena on EU:n sopeutumisstrategian valmistelu ja sen toimeenpanon aloittaminen 2013.
- Euroopan komission tiedonanto — Biologisen monimuotoisuuden vähene-
misen pysäyttäminen vuoteen 2010 mennessä — ja sen jälkeen; Ekosysteemi-

20 Marttila, V., Granholm, H., Laanikari, J., Yrjölä, T., Aalto, A., Heikinheimo, P., Honkatuki, J., Järvinen, H., Liski, J., Merivirta, R., & Paunio, M. 2005. Ilmastonmuutoksen kansallinen sopeutumisstrategia. MMM:n julkaisuja 1/2005. Vammalan kirjapaino Oy, Vammala. 272 s.

21 Lähiajan energia- ja ilmastopolitiikan linjauksia – kansallinen strategia Kioton pöytäkirjan toimeenpanemiseksi. Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 24 päivänä marraskuuta 2005. KTM Energiaosasto. Julkaisuja 25/2005. Edita Publishing Oy, Helsinki. 121 s.

22 Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia. Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 6. päivänä marraskuuta 2008. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja. Energia ja ilmasto. 36/2008. Edita Publishing Oy, Helsinki. 159 s.

23 Valtioneuvoston selonteko ilmasto- ja energiapolitiikasta: kohti vähäpäästöistä Suomea. Valtioneuvoston kanslian julkaisusarja 28/2009. Yliopistopaino, Helsinki. 180 s. 978-952-5807-65-3.

24 Valkoinen kirja. Ilmastonmuutokseen sopeutuminen: Kohti eurooppalaista toimintakehystä. Bryssel 1.4.2009. KOM(2009) 147. 20 s.

palvelujen säilyttäminen ihmisten hyvinvoinnin varmistamiseksi²⁵. Tiedonannossa yksilöidään tärkeimmät toiminta-alueet ja niihin liittyvät tavoitteet sekä tuetaan toimenpiteitä, joilla voidaan saavuttaa vuotta 2010 koskevat tavoitteet ja käynnistää biologisen monimuotoisuuden ennalleen saattaminen.

- Euroopan komission tiedonanto — Luonnonpääoma elämämme turvaajana: luonnon monimuotoisuutta koskeva EU:n strategia vuoteen 2020²⁶. Strategialla pyritään kääntämään luonnon monimuotoisuuden heikkenemissuuntaus ja nopeuttamaan EU:n siirtymistä kohti resurssitehokasta ja ympäristöä vähemmän kuormittavaa taloutta.
- Yhdistyneiden kansakuntien (YK) ilmastomuutosta koskeva puitesopimus²⁷

VACCIA-hankkeen tuloksia on jo hyödynnetty ilmastomuutoksen kansallisen sopeutumisstrategian uudistamistyössä ja tulokset palvelevat myös EU-strategioiden kansallista toimeenpanoa. Hankkeessa toteutettu monimuotoisuuden *ex situ* -suoje-lutavoitteiden arviointi on palvellut kansainvälisen biodiversiteetisopimuksen osapuolisopimuksen^{28, 29} velvoitteiden toteuttamista. VACCIA:n aloittamaa työtä pyritään jatkamaan myös hankkeen lopettamisen jälkeen. Paikallisen tason kehittämistyötä on tuettu arvioimalla mm. luontoperustaisen matkailun haavoittuvuutta ja sopeutumisista Kuusamon ja Sotkamon alueilla. Hankkeessa kehitettyjen ja dokumentoitujen mallintamis-, paikkatieto- ja tietokantasovellusten avulla vastaavia ekosysteemipalveluarviointeja voidaan tehdä myös muilla alueilla.

25 Biologisen monimuotoisuuden vähenemisen pysäyttäminen vuoteen 2010 mennessä – ja sen jälkeen. Ekosysteemipalvelujen säilyttäminen ihmisen hyvinvoinnin turvaamiseksi. Bryssel 22.5.2006. KOM(2006) 216 lopullinen. 17 s.

26 Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle sekä alueiden komitealle. Luonnonpääoma elämämme turvaajana: luonnon monimuotoisuutta koskeva EU:n strategia vuoteen 2020. Bryssel 3.5.2011. KOM(2011) 244 lopullinen. 18 s.

27 Yhdistyneiden kansakuntien (YK) ilmastomuutosta koskeva puitesopimus (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC), 1992.

28 Secretariat of the Convention on Biological Diversity 2002. Global strategy for Plant conservation. Montreal. 13 s.

29 Kansainvälinen biodiversiteetisopimus (Convention on Biological Diversity, CBD), 1993.

2 Muutosten ennustaminen ja seuraaminen

Ilmasto- ja ilmanlaatuskenaariot ja kaukokartoitus

2.1

Ilmastoskenaariot

Kirsti Jyllä, Mikko Laapas, Kimmo Ruosteenoja

2.1.1

Ilmastojärjestelmän tutkimus

Maapallon ilmaston lämmetessä kasvihuoneilmiön voimistumisen myötä myös Suomen ilmaston ennakoidaan muuttuvan. Kasvihuonekaasujen, kuten hiilidioksidin (CO_2), metaanin (CH_4) ja typpioksiduulin (N_2O), lisääntyneet pitoisuudet ilmakehässä vähentävät maanpinnan lähettämän lämpösäteilyn karkaamista avaruuteen, jolloin ilmasto lämpenee. Hiilidioksidin pitoisuus ilmakehässä on kohonnut teollistumista edeltävästä ajasta jo noin 40 %, viimeaikaisen vuosittaisen kasvun ollessa keskimäärin 0.5 %. Toisaalta ihmistoiminnan aiheuttamien pienhiukkaspäästöjen vuoksi ilmakehä on samentunut, mikä jäähdyttää maanpinnan läheistä ilmaa. Maankäytön muutokset, mm. kaupungistuminen, metsien raivaus ja soiden ojitus, muuttavat meilläkin paikallista ilmastoa jonkin verran.

Ilmaston tähänastisia muutoksia ja vaihteluita tutkittaessa lähtökohtana ovat mahdollisimman pitkälle menneisyyteen ulottuvat yhtenäiset säähavaintoajaksarjat. Tulevaisuuden ilmaston arviot eivät kuitenkaan perustu oletukseen, että aikaisemmat kehityskulut jatkuisivat samanlaisina tulevaisuuteen. Sen sijaan pohjana ovat kasvihuonekaasujen ja pienhiukkasten pitoisuusskenaariot ja ilmastomallit, jotka kuvaavat ilmastojärjestelmän käyttäytymistä ilmakehän koostumuksen muuttuessa.

Tulevaisuuden ilmastoa ei voida ennustaa tarkasti. Tähän on useita syitä. Ensinnäkin kasvihuonekaasujen ja pienhiukkasten päästöt riippuvat ihmiskunnan tulevista toimista. Toiseksi ilmastojärjestelmän mallittamiseen liittyy epävarmuutta: miten kasvihuonekaasujen ja hiukkasten pitoisuudet riippuvat päästöjen kehityksestä ja miten ilmasto reagoi ilmakehän koostumuksen muutoksiin? Lisäksi ilmasto vaihtelee luonnostaankin mm. auringon aktiivisuuden, tulivuoritoiminnan sekä ilmakehän ja merten kiertoilikkeeseen liittyvän ”sisäisen” vaihtelun vuoksi. Mitä pienempää aluetta tai lyhyempää ja lähempänä nykyaikaa olevaa ajanjaksoa tarkastellaan, sitä suurempi on luonnollisesta vaihtelusta aiheutuva ennusteen epävarmuus.

Ilmastojärjestelmän tutkimuksen tavoitteisiin kuuluu, että ilmastomuutokseen sopeutumista tuetaan tuottamalla ilmastoskenaarioita. Suomelle on laadittu ilmastoskenaarioita Ilmastomuutoksen sopeutumistutkimusohjelmaan (ISTO) kuuluneessa ACCLIM-hankkeessa (Sään ääri-ilmiöt nykyilmastossa ja uusimpiin mallikokeisiin perustuvat arviot ilmastomuutoksesta sopeutumistutkimuksia varten – ACCLIM). Ilmastomuutosarviot perustuvat useiden, parhaimmillaan lähes 20 eri ilmastomallin antamiin tuloksiin. Malliaineiston laajuus on tehnyt mahdolliseksi arvioida Suomen ilmaston muuttumista ja siihen liittyvää epävarmuutta aiempaa kattavammalla tavalla.

Odotettavissa olevat muutokset

Monet ilmastomme ominaisuudet vaikuttavat ekosysteemipalveluihin. Suomen ilmastomallien perusteella Suomessa on odotettavissa seuraavan tyyppisiä muutoksia:

- Ilmasto lämpenee jo lähivuosikymmeninä varsin selvästi lämpötilojen luonnolliseen vuosikymmenten väliseen vaihteluun verrattuna. Talvet lämpenevät kesiä enemmän, mutta koska talvilämpötilat vaihtelevat erityisen paljon luontaisestikin, myös lämpenemisennusteen epävarmuus on suurin talvella. Talvisin lämpeneminen on nopeampaa maamme pohjoisosissa kuin etelässä, kun taas kesäisin maan eri osien välillä ei ole suurta eroa.
- Kesällä kuumat päivät yleistyvät ja kuumat jaksot pitenevät. Talvella taas pakkaspäivien määrä vähenee ja kylmyysennätysten lyöminen on käymässä yhä epätodennäköisemmäksi. Melkein kaikki mallit ennustavat talvilämpötilojen vaihtelevuuden vähenevän, sillä talvikuukausien kylmimmät lämpötilat kohoavat lauhimpia enemmän.
- Termisen eli lämpötilojen mukaan määritellyn talven lyhentyessä terminen kesä ja terminen kasvukausi vastaavasti pitenevät. Lounaassa kasvukausi pitenee muuta maata enemmän, ja siellä myös terminen syksy venähtää huomattavasti.
- Vuoden pisimmän poutajakson pituus pysyy suunnilleen ennallaan, mutta talvella ja keväällä pisimmät poutajaksot lyhenevät, samoin syksyllä Pohjois-Suomessa. Kesällä etelässä sadepäivät saattaisivat kuitenkin harveta ja poutajaksot jopa hieman pidentyä.
- Ilmaston lämmitessä routa hupenee. Lumettomilla alueilla routakerros ohenee sadan vuoden aikana maan etelä- ja keskiosissa kolmannekseen ja pohjoisessa kahteen kolmannekseen.
- Ilmaston lämmitessä myös sademäärät lisääntyvät suhteellisen muutoksen ollessa suurempi pohjoisessa kuin etelässä. Muutokset ovat kuitenkin melko hitaita ja voivat vielä lähivuosikymmeninä hyvin hukkoa ilmaston luonnollisen vaihtelun sekaan.
- Vaikka sadesummat kasvavat suhteellisesti ottaen eniten talvella, kesäsateet ovat jatkossakin talvisateita runsaampia. Toisaalta kesän sademäärien ennustettu pieni lisääntyminen ei välttämättä lisää vesivaroja, koska lämpimässä ilmastossa myös veden haihtuminen lisääntyy, mikä lisää mm. metsäpalojen riskiä.
- Runsassateisten (lumi- tai vesisade) päivien määrä lisääntyy kaikkina vuodenaikoina, eniten talvella ja vähiten kesällä. Rankat sateet sekä yleistyvät että voimistuvat. Kesällä rankkasateet voimistuvat suhteessa enemmän kuin mitä koko kesän sadesumma lisääntyy.
- Ilmastomuutoksen myötä kasvaa vähitellen todennäköisyys, että sade-ennätykset rikkoutuvat aiempaa lyhyemmin väliajoin. Sattuma vaikuttaa kuitenkin äärisateiden esiintymiseen edelleenkin hyvin paljon.
- Lumipeite hupenee etenkin alku- ja lopputalvesta. Suhteellisesti suurinta lumen väheneminen on etelässä. Pohjois-Suomessa muutos on pienempi, ja voi vielä lähivuosikymmeninä hukkoa satunnaisen ilmastovaihtelun sekaan. Lumisateen määrä vähenee syksyllä ja keväällä, Etelä-Suomessa keskitalvella-kin vesisateiden osuuden kasvaessa. Lapissa satavan lumen määrä sen sijaan lisääntyy keskitalvella. Lumen talviaikainen sulaminen yleistyy, ja nykyisen mittapuun mukaan runsaslumiset talvet vähenevät ajan myötä, mutta eivät kuitenkaan katoa kokonaan.

- Suomessa talvet ovat jo nykyisellään varsin kosteita. Ilmaston lämmitessä useimmat mallit ennustavat ilman suhteellisen kosteuden nousevan vielä nykyisestä muutamalla prosenttiyksiköllä ennen vuosisadan loppua. Kesän ja alkusyksyn aikana suhteellinen kosteus pysynee meillä suunnilleen nykyisellään. Tämä päätelmä on kuitenkin melko epävarma, koska mallien tulokset eroavat tuolloin toisistaan paljon.
- Tuulisena vuodenaikana (syys-huhtikuussa) keskimääräinen tuuli voimistuu joitakin prosentteja, ja samoin tuulen maksimiavot kasvanevat hieman. Samalla etelä- ja länsituulet yleistyvät hieman pohjoisen, idän ja kaakon suuntaisten tuulten kustannuksella. Kesällä tuulet puhaltavat tulevaisuudessa suunnilleen yhtä kovaa ja samoilta suunnilta kuin nykyisinkin.
- Talvet muuttuvat tulevaisuudessa entistäkin pilvisemmiksi ja auringottomammiksi. Kesällä ei pilvisyydessä ja auringonsäteilyn määrässä ole odotettavissa suuria muutoksia. Keväällä auringon kokonaissäteilyn määrä hieman pienentyy; syksyä koskevat tulokset ovat varsin epävarmoja.

2.1.3

Ennusteiden epävarmuus päätöksenteon kannalta

Ilmastomuutosta ja sen vaikutuksia koskevissa ennusteissa on väistämättä epävarmuutta. Jos ekosysteemipalveluiden haavoittuvuutta tulevaisuuden ilmastossa koskevat arviot pohjautuisivat vain yhden ilmastomalliajon antamiin tuloksiin, tulokset voisivat olla hyvinkin harhaanjohtavia. Ennusteisiin sisältyvä epävarmuus voidaan pyrkiä ottamaan päätöksenteossa huomioon esimerkiksi riskienhallinnan avulla. Toisaalta se, kuinka paljon Suomessa koettavat ilmastomuutokset vaikuttavat ekosysteemipalveluihin ja niiden kilpailukykyyn, riippuu myös ilmaston muuttumisesta maamme rajojen ulkopuolella. Samalla kun Suomessa sateet lisääntyvät, Etelä-Eurooppa ja kesällä myös Keski-Eurooppa muuttuvat entistä kuivemmiksi. Tämä voi vaikuttaa esimerkiksi maataloutemme toimintaedellytyksiin enemmän kuin omien sademääriemme lisääntyminen ja kasvukauden piteneminen.

2.1.4

Keskeiset tutkimus- ja selvitystarpeet

- Kuukauden keskilämpötilan ja sadesumman lisäksi myös muiden ilmastosuureiden, kuten vuorokauden sademäärien, muutosarvioihin sisältyvien epävarmuuksien ja todennäköisyyksien selvittäminen sopeutumistoimien mitoittamiseksi.
- Ekosysteemipalveluiden haavoittuvuuden arviointi muuttuvassa ilmastossa vaatii kullekin palvelulle räätälöityjä ilmastotietoja. Näiden laatiminen mahdollisimman käyttökelpoiseen muotoon vaatii edelleen kehitystyötä.
- Erityisesti pienen mittakaavan ilmiöiden ja ilmaston alueellisen vaihtelun tarkempi selvittäminen.
- Ajantasaisten, viimeisimpään tietämykseen perustuvien ja aiempaa yksityiskohtaisempien ilmastomuutosskenaarioiden laatiminen.

2.2

Ilmanlaatuskenaariot

Pia Anttila, Hannele Hakola, Aki Virkkula, Timo Ryyppö

2.2.1

Ilmansaasteet kulkeutuvat laajalle

Ilmansaasteet saattavat kulkeutua pitkällekin syntyalueiltaan, joten niiden vaikutukset ulottuvat laajalle. VACCIA-hankkeessa selvitettiin ilmansaasteiden pitoisuuksien trendejä ja lähdealueita sekä ilmastonmuutoksen vaikutusta ilmansaasteiden kulkeutumiseen pohjoisille alueille. Ilmaston ennakoidaan lämpenevän voimakkaimmin juuri arktisella alueella, jonka erityisen herkäät ekosysteemit ovat uhattuina. Analysoinnissa käytettiin Ilmatieteen laitoksen Pallaksen ilmanlaadun tausta-aseamalla (Kuva 2) mitattuja pitoisuuksia. Asema kuuluu kansainväliseen maailmanlaajuiseen Global Atmosphere Watch (GAW) -verkostoon.

Venäjän Kuolan alueen metalliteollisuus on merkittävä rikkidioksidin (SO_2) ja raskasmetallien, erityisesti nikkelin ja kuparin, päästölähde ilmaan arktisella alueella. Kuolan alueen päästöt kohottavat pitoisuuksia myös Pallaksen asemalla. Tarkasteluvälillä (1996–2009) Kuolan alueelta kulkeutuvien saasteiden pitoisuudet kuitenkin laskivat hiukan päästöjen vähenemisen seurauksena. Kaukokulkeutuvan sulfaatin (SO_4^{2-}) pitoisuus on niin ikään laskenut Pallaksella mainittuna ajanjaksona, kun taas typpiyhdisteille tilanne ei ole yhtä hyvä. Typpidioksidille (NO_2) ja nitraatti- (NO_3^-) ja ammoniumionien (NH_4^+) pitoisuuksille ei havaittu minkäänlaista trendiä. Typpidioksidin merkittävin päästöalue on tiheästi asutettu Keski-Eurooppa.



Kuva 2. Ilmanlaadun mittausasema Pallaksella. Kuva: Pia Anttila.

Otsoni (O_3) on alueellinen ilmansaaste, jolla ei ole pistemäisiä päästölähteitä, vaan sitä muodostuu ilmakemiallisissa reaktioissa haihtuvista hiilivedyistä (volatile organic compounds, VOC) ja typen oksideista auringonvalon vaikutuksesta. Näistä saasteista muodostunut otsoni voi säilyä ilmakehässä viikkoja, kulkeutua mantereelta toiselle ja aiheuttaa näin kohonneen taustapitoisuuden myös pohjoisille alueille. Otsonipitoisuudet ovatkin pysyneet Pallaksen alueella melko korkealla tasolla, koska globaalit päästöt pitävät otsonin perustason kohonneena koko pohjoisella pallonpuoliskolla. Pallaksella on havaittu ainoastaan nopeammin reagoivien yhdisteiden pitoisuuksien laskevan. Polysyklisen aromaattisten hiilivetyjen (PAH) pitoisuudet ovat pysyneet 1990-luvun puolivälin tasolla tai laskeneet hiukan. Joitakin raskaimpia PAH-yhdisteitä kulkeutuu Kuolan alueelta ja näiden yhdisteiden pitoisuudet ovat laskeneet merkittävästi. Suurin osa PAH-yhdisteistä kuitenkin kulkeutuu Pallaksen alueelle etelästä ja lännestä samanaikaisesti typpidioksidin ja nitraatin kanssa, mikä viittaa liikennepäästöihin.

PAH-yhdisteiden lisäksi Pallaksella on mitattu myös muita pysyviä orgaanisia yhdisteitä (persistent organic pollutant, POP). Haitallisten POP-yhdisteiden käyttöä on maailmanlaajuisesti rajoitettu ja primääripäästöjen väheneminen näkyy myös Pallaksen ilmapitoisuuksissa laskevana trendinä. Tähän myönteiseen kehitykseen on kuitenkin yksi poikkeus; DDT:n (dikloori-difenyylitrikloorietaani) hajoamistuotteen DDD:n (diklooridifenyylidikloorietaani) pitoisuus oli kasvussa.

POP-yhdisteitä on kuitenkin varastoituneena luonnon ekosysteemeissä ja rakennetuissa ympäristöissä vuosikymmenien käytön ja kulkeutumisen seurauksena. Lämpenemisessä ilmastossa POP-yhdisteiden haihtuminen takaisin ilmaan voi kiihtyä. Lämpenevässä ilmastossa myös hyönteismyrkkyjen maailmanlaajuinen käyttö saattaa lisääntyä. Onkin arvioitu, että nämä mahdolliset muutokset POP-päästömäärissä voivat tulevaisuudessa hidastaa pitoisuuksien alenemista tai jopa saada aikaan joidenkin POP-yhdisteiden pitoisuuksien kääntymisen nousuun.

2.2.2

Mallit ennustavat muutoksia saasteiden kulkeutumisreitteihin

Ilmastomallit ennustavat lieviä muutoksia ilmamassojen kulkeutumiseen Pohjois-Suomeen. Nykyisinkin vallitsevat luoteiset ilmavirtaukset tulevat yleistymään edelleen, mutta myös läntiset ja eteläiset ilmavirtaukset yleistyvät idänpuoleisten virtausten kustannuksella. Tämä kehitys vähentää edelleen Kuolan niemimaan saasteiden kulkeutumista Pohjois-Suomeen. Yleisemminkin manneralueelta tulevien idänpuoleisten virtausten väheneminen vaikuttaa saastekuormitusta vähentävään suuntaan Suomessa.

Toisaalta oletettu sateisuuden lisääntyminen alueella³⁰ voi lisätä saasteiden mm. raskasmetallien laskeumaa, lisäksi oletettu lämpötilan nousu saattaisi lisätä valokemiallisesti muodostuvien yhdisteiden kuten otsonin pitoisuuksia.

Ilmaston muuttuminen tuonee muutoksia myös emissioiden jakaumaan, mm. laivojen päästöjen odotetaan kasvavan Arktisilla merialueilla jääpeitteen pienenemisen seurauksena. Useiden yhdisteiden pitoisuuksien odotetaan kasvavan lisääntyvän laivaliikenteen seurauksena, kuten rikkidioksidin (SO_2), typen oksidien (NO_x), mustan hiilen, orgaanisen hiilen, hiilimonoksidin (CO) ja hiilidioksidin (CO_2)³¹. Kasvava typpidioksidipitoisuus saattaa lisätä otsonin muodostusta alueella, jolla otsonin muodostusta rajoittavat alhaiset typpidioksidipitoisuudet.

30 Jylhä, K., Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Ruokolainen, L., Saku, S. & Seitola, T. 2009. Arvioita Suomen muuttuvasta ilmastosta sopeutumistutkimuksia varten ACCLIM-hankkeen loppuraportointi. Ilmatieteen laitos, Raportteja 2009:4. 102 s.

31 Corbett, J., Lack, D.A., Winebrake, J.J., Harder, S., Silberman, J.A., & Gold, M. 2010. Arctic shipping emissions inventories and future scenarios. *Atmospheric Chemistry and Physics* 10: 9689-9704.

Ilmastonmuutoksen odotetaan myös muuttavan metsä- ja maastopalojen maantieteellistä jakaumaa. Alueilla, joilla ilmastonmuutos aiheuttaa sateisuuden vähene- mistä (esim. Etelä-Eurooppa), varhaisempaa lumen sulamista, korkeampia kesäläm- pötiloja ja pidempää luontopalojen kautta metsäpaloaktiivisuus tulee kasvamaan. Pohjoisen havumetsävyöhykkeen alueen kasvavalla metsäpaloaktiivisuudella on suuri vaikutus pohjoisen pallonpuoliskon ilmakehän koostumukseen. Erityisesti paloissa muodostuvalla mustalla hiilellä on ilmastonmuutosta vahvistava vaikutus, koska se adsorboi suoraa auringon valoa ja pienentää pinnan albedoa (heijastuneen ja tulevan säteilyn suhdetta). Ilmastonmuutosta voi voimistaa niin ikään lisääntyvä otsonin muodostuminen.

2.2.3

Keskeiset tutkimus- ja selvitystarpeet

- Sademäärien muutosten vaikutukset ilmanlaatuun.
- Muuttuvan ilmaston merkitys otsonipitoisuuksille erityisesti pohjoisilla leveysasteilla.
- Ilmastonmuutoksen välilliset vaikutukset ilmanlaatuun, esim. laaja-alaiset metsäpalot.
- Biopolttoaineiden lisääntyvän käytön ja ilmaston lämpenemisen yhteisvaiku- tus ilmanlaatuun (esim. PAH-yhdisteet).

2.3

Kaukokartoitus, paikkatiedot ja maankäytön muutokset

Saku Anttila, Pekka Härmä

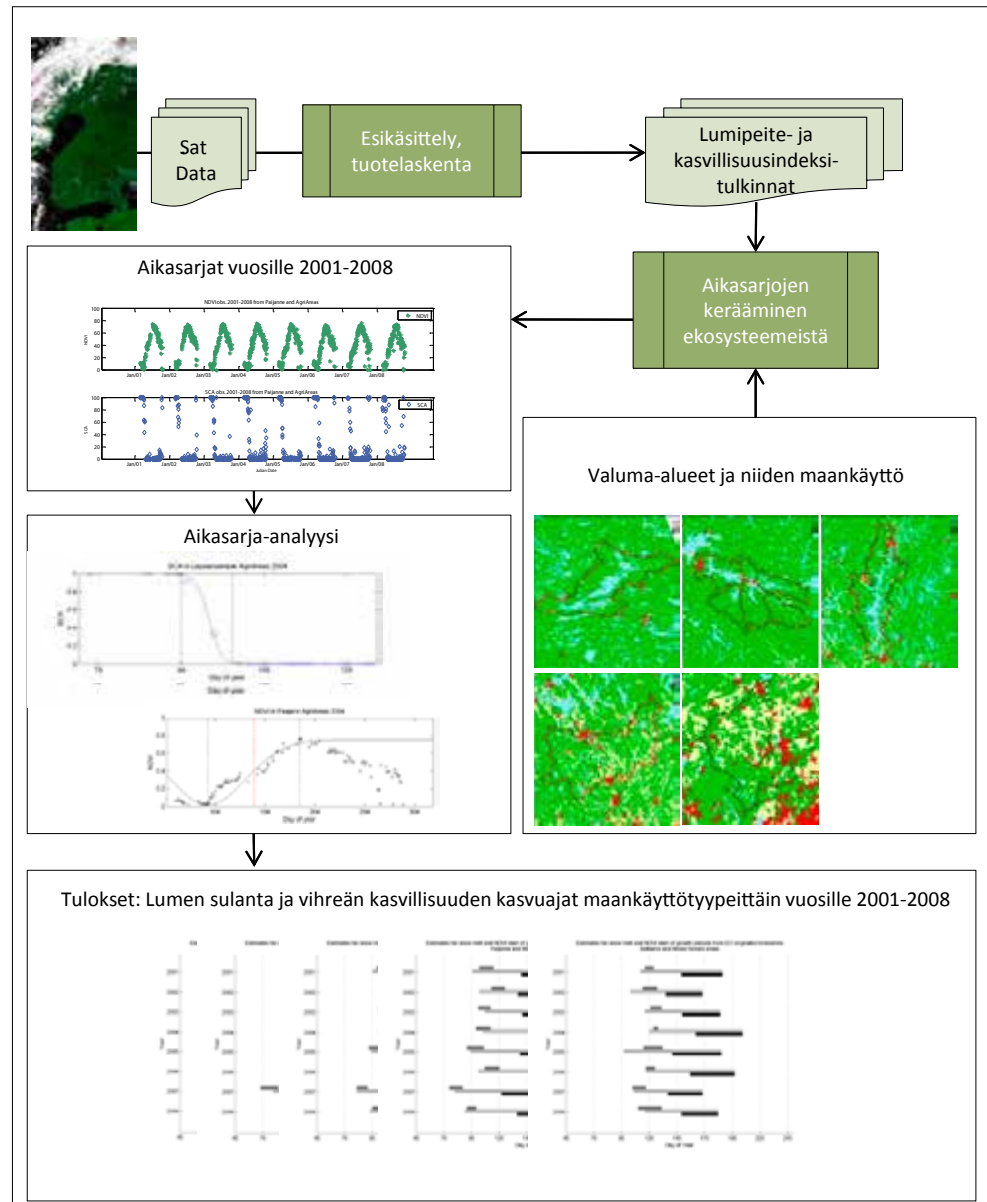
Kaukokartoituksella pystytään sen alueellisen kattavuuden vuoksi mittaamaan samanaikaisesti monenlaisia muuttujia kokonaisista ekosysteemeistä. Muodos- tamalla tulkituista satelliittikuvista aikasarjoja voidaan seurata sekä alueellisesti että ajallisesti tapahtuvia muutoksia mm. kasvillisuudessa, maankäytössä tai talvisessa lumipeitteessä. Näin saadaan esim. tietoa siitä, miten esim. ilmaston muuttumisen aikaansaama muutos etenee vuosittain Etelä- ja Pohjois-Suomen ekosysteemeissä.

VACCIA-hankkeessa kaukokartoituksen yhtenä päätavoitteena oli tarjota alu- eellisesti kattavaa tietoa maanpeitteessä ajallisesti tapahtuvista muutoksista. Erityisesti keskityttiin ekosysteemien vuosittaisiin lumi- ja kasvipeitteen muutok- siin. Tärkein tietolähde oli päivittäisistä keskierotuskyvyn (250–1000 m) Terra/ MODIS-satelliittikuvista lasketut lumipeitto- ja kasvillisuusindeksiaikasarjat vuosille 2001–2008. Aikasarjat laskettiin viidelle eri valuma-alueelle Suomessa ja niissä viidelle eri maanpeitetyypille. Käsitellyistä ja mallinnetuista aikasarjoista haluttiin ensisijaisesti saada tietoa, minkä ajan kukin maanpeiteluokka on ilman lumipeitettä tai vihreää kasvipeitettä keväisin. Maaperä on tällöin herkimmillään eroosiolle (veden, tuulen, jäätikön, aallokon tms. aiheuttamalle maa-ainesten irtautumiselle ja poiskulkeutumiselle) ja VACCIA-hankkeessa tätä tietoa käy- tettiin valuma-alueiden huuhtoumamallinnuksessa. Kuvassa 3 on esitettyinä satelliittikuvien käsittely- ja tulkintaketju, jonka avulla tieto saatiin viideltä eri valuma-alueelta Suomessa.

VACCIA-hankkeessa haluttiin myös kehittää kaukokartoitustiedon käyttöä ilmastonmuutos- sekä ekosysteemipalvelututkimuksessa (Kuva 4). Tätä varten tuotettiin vedenlaadun aikasarjoja rannikkoalueille, tulkittiin viheralueiden mää- rää kaupunkien pienvalluma-alueilla, tehtiin alueellisia vedenlaatatulkintoja järvi- altailla tai tuotettiin kaukokartoitus pohjaisia veden pintalämpötilan aikasarjoja

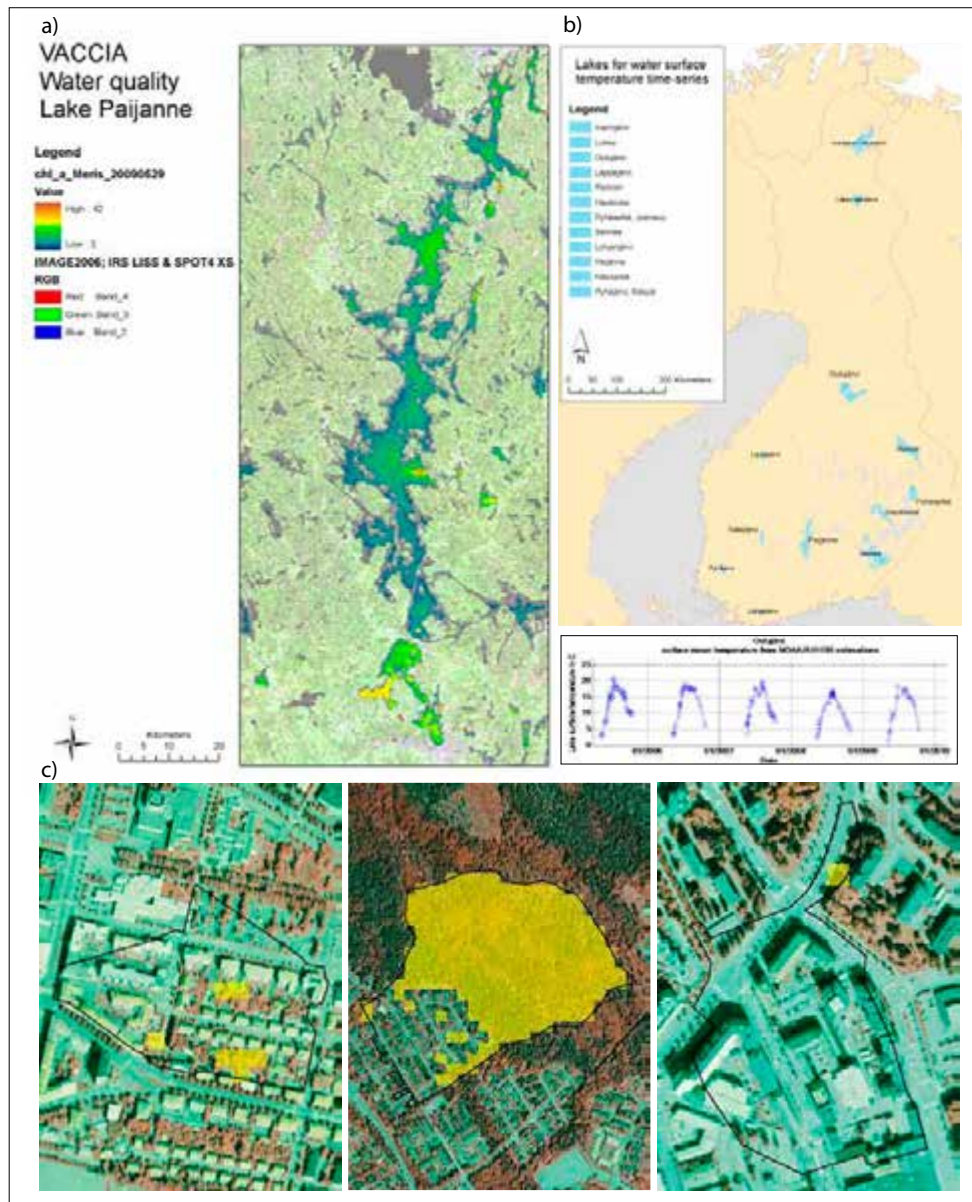
Suomen suurimmille järville. Lisäksi kerättiin erilaisia kaukokartoitusaineistoja, joita jatkojalostettiin ekosysteemien sopeutumista ilmastonmuutokseen käsittelevien tutkimusten käyttöön.

Kaukokartoitus on suhteellisen uusi ympäristön mittausmenetelmä. Tieto on luonteeltaan erilaista verrattuna perinteisiin mittausmenetelmiin ja sen käytössä on otettava huomioon esimerkiksi alueellisen erotuskyvyn tai ilmakehän vaikutukset tulkitun tiedon tarkkuuteen. Tästä huolimatta kaukokartoitusmenetelmien käytön ekosysteemien tutkimuksessa voidaan olettaa kasvavan tulevaisuudes-



Kuva 3. Esimerkki satelliittikuvien käsittely- ja tulkintaketjusta, jonka avulla selvitetään valuma-aluekohtaisesti maanpinnan eroosiolle herkkää ajanjaksoa. Tulkinta on tehty vuositasolla ja maankäyttötyypeittäin.

sa, sillä menetelmä mahdollistaa ekosysteemien ja prosessien tutkimisen niin paikallisella kuin maailmanlaajuisella tasolla. Kaukokartoituksen hyödyntämis- mahdollisuuksia lisäävät lähitulevaisuudessa käyttöön otettavat uudet satelliitti-instrumentit, jotka tuottavat alueellisesti, ajallisesti ja spektraalisesti (eri aallonpi-tuusalueiden erotuskyvyn suhteen) yhä tarkempaa tietoa. Uuden eurooppalaisen SENTINELS-satelliittisarjan aineistot saadaan jatkossa maksutta ympäristötutki-muksen käyttöön.



Kuva 4. Esimerkkejä VACCIA-hankkeessa erilaisten ekosysteemitutkimusten käyttöön tuotetusta kaukokartoitustiedosta. Alueellisia vedenlaatutulkintoja (a), veden pintalämpötila-aikasarjoja järville (b) ja kaupunkien pienvaluma-alueiden viheralueosuuksia (c).

Ekologisia kynnysarvoja voidaan arvioida eri menetelmillä, joista keskeiset ovat aikasarja-analyysi ja matemaattinen mallintaminen. VACCIA-hankkeessa voitiin hyödyntää FinLTSER-alueiden (ks. Liite 1) monipuolista ja pitkäaikaista tutkimus- ja seuranta-aineistoa, minkä vuoksi hankkeessa käytettiin molempia menetelmiä. Tilastollisen aikasarja-analyysin avulla voidaan tunnistaa olosuhteita, joissa esiintyy äkillisiä muutoksia. Kynnysarvoja voidaan myös löytää matemaattisten mallien avulla, käyttäen skenaarioanalyysiä ja mallien herkkyystarkasteluja.

3.2

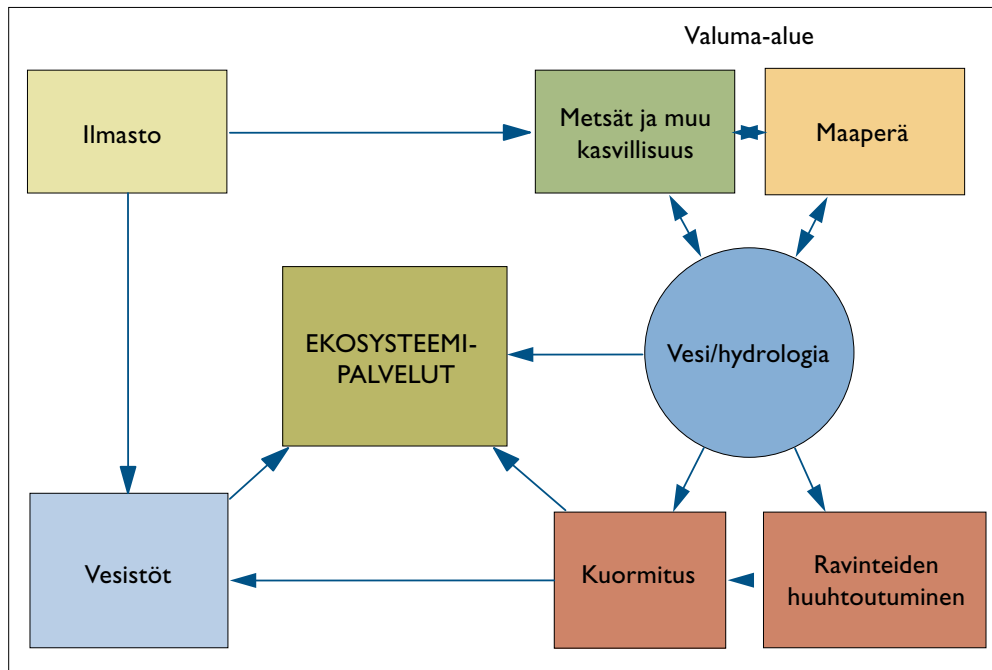
Valuma-alueet ja vesistöt

Samuli Sairanen, Lauri Arvola, Katri Rankinen, Juha Karjalainen, Tapio Keskinen, Merja Pulkkanen

3.2.1

Valuma-alueiden ekosysteemipalvelut ja niiden haavoittuvuus

Pohjoisen havumetsävyöhykkeen maa- ja vesiekosysteemit ovat herkkiä ilmasto-olosuhteiden muutoksille. Ennusteiden mukaan talviaikaiset lämpötilat ja sademäärät ovat tulevaisuudessa nykyistä korkeampia (ks. 2.1). Tämän seurauksena ravinteiden kierrot ja huuhtoutuminen vesistöihin voivat muuttua. Lisäksi vesistöjen kesäaikaisen pintalämpötilojen ennustetaan nousevan. Kerrostuvissa järvissä kesäaikainen lämpötilakerrostuneisuus on tulevaisuudessa pitkäkestoisempaa ja harppauskerros painuu syvemmälle. Harppauskerroksella tarkoitetaan järvissä ja merissä kesäisin esiintyvää päällys- ja alusveden välissä olevaa vesikerrosta, välivettä, jossa lämpötila alenee lyhyellä matkalla nopeasti syvemmälle siirryttäessä. Ilmaston lämpenemisestä johtuvat muutokset valuma-alueilla ja vesistöissä vaikuttavat myös niiden tuottamiin ekosysteemipalveluihin (Kuva 6).



Kuva 6. Ilmastonmuutos vaikuttaa valuma-alueiden ja vesistöjen tuottamiin ekosysteemipalveluihin monella tavalla. Kasvillisuuden ja maaperän muuttuminen muuttaa valuma-alueiden vesitaloutta ja vesistöihin valuvan veden määrää ja laatua. Tämä puolestaan vaikuttaa vesiekosysteemin toimintakykyyn.

Valuma-alueiden tuottamia ekosysteemipalveluja ovat pohjaveden muodostuminen, hydrologian säätely ja valuma-alueiden ravinteiden pidätyskyky. Pohjavettä voi muodostua tulevaisuudessa nykyistä vähemmän, jos helteiset ja vähäsateiset kesät yleistyvät. Samalla pohjaveden laatu voi heikentyä. Ennustettu sään ääri-ilmiöiden kuten rankkasateiden yleistyminen puolestaan aiheuttaa muutoksia hydrologian säätelyssä, minkä seurauksena tulvat ja kuivuusjaksot voivat yleistyä. Muutoksia voi olla myös valuma-alueiden kasvillisuuden ja maaperän kyvyssä pidättää ravinteita voimakkaiden kesätulvien esiintyessä, kuten tapahtui kesällä 2004. Talviaikaisten lämpötilojen nousu lyhentää maata eroosiolta suojaavaa lumipeitteistä kautta ja kiihdyttää maan mikrobitoimintaa. Ennustettu sademäärien kasvaminen talvella lisää valuntaa. Seurauksena edellä mainituista on lisääntyvä ravinnekuormitus, mikä puolestaan voimistaa vesien rehevöitymistä. Toisaalta ennustetun metsien kasvun kiihtymisen (ks. 4.2) myötä ravinteiden otto maaperästä tehostuu, mikä taas saattaa vähentää metsäalueilta tulevia ravinnehuuhtoumia.

Monet valuma-alueiden tuottamien ekosysteemipalveluiden toimivuuden keskeisistä riskitekijöistä liittyvät sadannan, haihdunnan ja maankäytön muutoksiin. Pohjaveden muodostumisen kannalta ratkaisevassa roolissa ovat sadannan määrä ja ajoittuminen. Kuivuudesta johtuvan pohjaveden pinnan liiallisen laskun myötä esimerkiksi rautapitoisuus voi kasvaa pohjavedessä. Hydrologian säätelyn kohdalla myös vesistöjen säännöstely- ja juoksutuspäätöksillä on vaikutusta. Valuma-alueiden kasvillisuuden ja maaperän ravinteiden pidätyskyvyn kannalta keskeistä on kasvukauden ulkopuolinen aika, jolloin kasvien ravinteidenotto on vähäistä. Myös tietyt maankäytön muutokset, kuten ojitukset, heikentävät valuma-alueiden ravinteiden pidätyskykyä.

3.2.2

Rehevöityminen ja hydrologisen vuosikierron muutokset ovat uhka ja haaste vesistöjen ekosysteemipalveluille

Vesistöjen tuottamia ekosysteemipalveluja ovat muun muassa puhdas vesi, kalakannat ja virkistyskäyttömahdollisuudet. Ilmastonmuutoksen edetessä suurimpana uhkana vesistöjen tuottamille ekosysteemipalveluille on vesistöjen rehevöityminen. Mikäli hydrologinen vuosikierto muuttuu keväiden aikaistuessa ja syksyjen viivästyessä, voi vesistöjen kyky pidättää ravinteita heikentyä. Tämä voimistaisi vesistöjen rehevöitymistä. Rehevöitymisen ja umpeenkasvun myötä vesistöjen vedenlaatu, virkistyskäyttömahdollisuudet ja vesiluonnon esteettiset arvot heikentyvät. Ilmaston lämpenemisen myötä myös järvien jääpeitteinen aika lyhenee. Simulointitulosten mukaan esim. Päijänteen Asikkalanselän keskimääräinen jäätyminen siirtyy joulukuulta tammikuulle ja sulaminen toukokuulta maaliskuulle kuluvan vuosisadan loppuun mennessä. Joinakin talvina yhtenäistä jääpeitettä ei enää jatkossa ehkä muodostu lainkaan: useat sulamis- ja jäätymisjaksot saman talvikauden aikana yleistyvät. Jääpeitteisen ajan lyheneminen ja kelirikkoajan piteneminen vaikeuttavat vesistöjen talviaikaista virkistyskäyttöä, kuten talvikalastusta ja jäällä liikkumista, esim. hiihtoa, moottorikelkkailua ja retkiluistelua. Myös kala- ja rapukannoissa on ennustettu tapahtuvan muutoksia ilmaston lämpenemisen myötä (kaloista ks. 4.3). Kylmän veden lajien, kuten lohikalojen, kannat taantuvat ja lämpimän veden lajien, kuten särkikalojen, kannat runsastuvat.

Ilmastonmuutoksen edetessä vesistöjen tuottamat ekosysteemipalvelut ovat erityisen haavoittuvia pinta-alaltaan pienissä ja matalissa järvissä. Vesistöjen ravinteiden pidätyskyvyn, vedenlaadun, virkistyskäyttömahdollisuuksien ja vesiluonnon esteettisten arvojen kannalta useimmat merkittävät uhkatekijät liittyvät liialliseen ravinnekuormitukseen ja rehevöitymisen haittavaikutuksiin (sinileväkukinnat ja umpeenkasvu). Kalakantojen osalta keskeisenä ongelmana on vesistöjen kesäaikaisten lämpötilojen liiallinen nousu.

Valuma-alueiden ja vesistöjen tuottamien ekosysteemipalveluiden kannalta tärkeimmät sopeutumishaasteet liittyvät valunnan, eroosion ja ravinnekuormituksen lisääntymiseen, sekä niissä tapahtuviin ajallisiin muutoksiin. Ilmastomuutoksen ohella niihin vaikuttavat lisäksi muutokset maankäytössä. Onkin vaikeaa erottaa ilmastomuutoksen ja maankäytön muutosten vaikutukset toisistaan. Maankäytön muutosten ennustaminen on vaativa tehtävä, koska maankäyttöä ohjaavat mm. politiikka ja talous. Niiden ennustaminen pitkällä aikavälillä on hankalaa.

3.2.3

Kohdennettuja vesiensuojelutoimia

Valuma-alueiden ja vesistöjen tuottamien ekosysteemipalveluiden turvaamiseksi vesiensuojelutoimenpiteitä on tulevaisuudessa tehostettava vastaamaan ilmastomuutoksen tuomia olosuhteita. Tulevaisuudessa yhä suurempi osa vesistöjen ravinnekuormituksesta tapahtuu talviaikaan. Nykyiset vesiensuojelumenetelmät, esim. kosteikkojen ja suojavyöhykkeiden käyttö, eivät kuitenkaan toimi riittävän tehokkaasti kasvukauden ulkopuolella. Myös sään ääri-ilmiöistä kuten rankkasateista johtuvat kuormituspiikit tulee huomioida vesiensuojelutoimenpiteiden mitoituksessa. Yhtenä haasteena on kartoittaa vesiensuojelun kannalta suurimmat ongelmakohteet ja toteuttaa niissä riittävän tehokkaat vesiensuojelutoimet. Tehtyjen vesiensuojelutoimenpiteiden vaikutukset näkyvät vesistöissä kuitenkin hitaasti. Tulevaisuudessa vaikutukset voivat lisäksi peittyä ilmastomuutoksen aiheuttamien vesistövaikutusten alle. Tämä asettaa haasteita toimien vaikuttavuudelle ja tehokkuudelle sekä myös toimenpiteiden vaikutusten seurannalle.

3.2.4

Keskeiset tutkimus- ja selvitystarpeet

Valuma-alueiden ja vesistöjen tuottamat ekosysteemipalvelut ovat elintärkeitä luonnon ja yhteiskunnan toimivuuden kannalta. Ilmastomuutoksen vaikutuksista ekosysteemipalveluihin tarvitaan lisää tietoa. Tutkimuksin varmennettua tietoa kaivataan muun muassa seuraavilta alueilta:

- Kasvukauden ulkopuolisen ravinnekuormituksen vähentämiskeinojen tutkiminen, ml. erilaisten keinojen kustannustehokkuus ja toteuttamiskeinot.
- Energiapuun, mukaan lukien risujen ja kantojen keräämisen aiheuttamien vesistövaikutusten tutkiminen erilaisilla valuma- ja vesistöalueilla, huomioiden ilmastomuutoksen vaikutukset hydrologiaan ja eroosioon.
- Typen ja fosforin osuuden selvittäminen vesistöjen rehevöitymisessä ekosysteemipalvelujen turvaamisen näkökulmasta.
- Mikrobitoiminnan aikaansaaman typen poiston merkityksen selvittäminen sisävesissä.
- Lämpötilan nousun merkitys vesistöissä tapahtuvalle orgaanisen aineksen hajoamiselle ja maa-alueilta tulevan typpikuormituksen kasvulle selvitettävä.
- Lisääntyvän orgaanisen aineen huuhtouman vaikutusten tutkiminen sisävesissä, mm. vesihuollon näkökulmasta, sekä kuormituksen hillintäkeinojen selvittäminen ilmastomuutoksen edetessä.
- Vesiensuojelutoimien valintaperusteiden, kohdentamisen ja toteuttamisen arvioiminen ottaen huomioon ekologiset, yhteiskuntapoliittiset ja taloudelliset näkökulmat.

Rannikkoalueet

Marko Reinikainen, Marko Hyvärinen, Henri Jokinen, Antti Nevalainen, Sami Aikio, Kari Koivula, Annamari Markkola, Marika Niemelä, Veli-Matti Pakanen

3.3.1

Läntisellä Suomenlahdella ilmaston muuttuminen heijastuu jo lajistoon

Rannikonläheisissä meriekosysteemeissä ilmastonmuutoksen vaikutukset ovat moninaisia. Muutokset tapahtuvat sekä elollisessa että elottomassa ympäristössä ja vuorovaikutuksessa muiden ekosysteemejä ohjaavien prosessien kanssa. Ilmastonmuutoksen tuomia vaikutuksia tarkastellessa on tutkittava paitsi yksittäisten suureiden muutoksia, myös muutosten yhteisvaikutuksia ja systeemin vasteita muutokseen.

Itämeren suolapitoisuudessa voidaan havaita laajaa lyhytaikaisempaa vaihtelua, mutta Suomenlahden rannikolla pitkäaikainen suuntaus on ollut heikosti laskeva. Itämeren suolapitoisuutta säätelevät Tanskan salmien läpi tulevat suolapulssit, makean veden virtaama ja sadanta. Ilmanpaineen ja vedenkorkeuden vaihtelut selittävät pulssien todennäköisyyttä. Ilmastonmuutosta on esitetty suolapulssien harvinaistumisen syyksi, mutta syy-yhteydet eivät ole täysin selvillä.

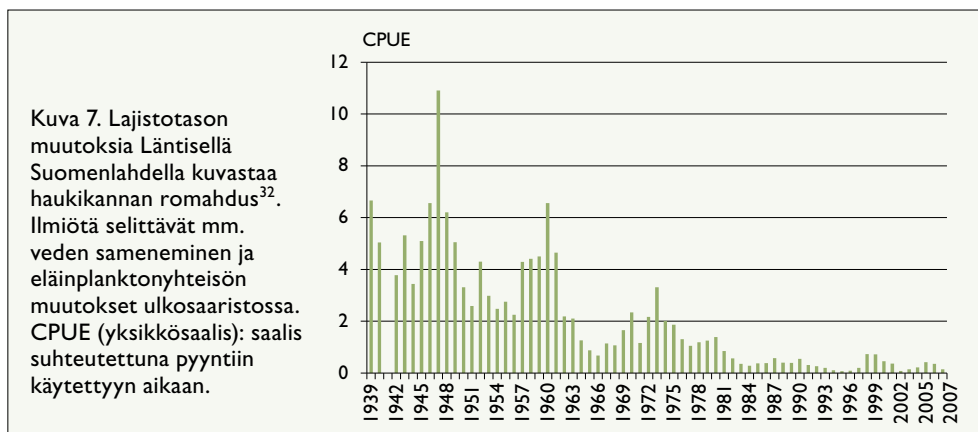
Toinen merkittävä muutos on veden lisääntynyt sameus. Sameuteen vaikuttavat sekä rehevöityminen, lisääntynyt ravinteiden määrä Itämeressä, että valuma-alueelta tuleva muu liuennut ja hiukkasmuotoinen aines. Ravinnepäästöt ovat ensisijaisesti ihmisen toiminnan aiheuttamia, ja ne olisivat lisääntyneet ilmastonmuutoksesta huolimatta. Tulvat ja sateet voivat kuitenkin lisätä ravinteiden ja samentavien aineiden huuhtoumia entisestään. Myös kuivien ja sateisten jaksojen ajallisella jakaumalla on merkitystä; esim. kuivina kesinä maaperään jää enemmän ravinteita, jotka huuhtoutuvat syksyllä ja keväällä mereen. Muita havaittuja muutoksia ovat keväinen jäiden lähdön aikaistuminen ja kasviplanktonin kasvuhuipun hivuttautuminen kevästä kohti loppukesää.

Itämeren muutosten yhdysvaikutukset ovat alkaneet näkyä lajistossa selvästi viime vuosikymmeninä. Merkittävimpiä lajistomuutoksia ovat:

- vähentyneet näkinpartaislevät (Charophyta)
- kasvanut järviruo'on (*Phragmites australis*) levinneisyys ja ruovikkoalueiden laajentuminen
- pohjaeläimistön valtalajien vaihdos valkokatkasta (*Monoporeia affinis*) liejusimpukkaan (*Macoma baltica*)
- kasvanut monisukasmadon (*Marenzelleria viridis*) populaatio ja levinneisyys
- sinisimpukkapopulaation (*Mytilus edulis*) heikkeneminen
- särjen (*Rutilus rutilus*) ja muiden särkikalojen vahva kannan lisääntyminen
- hauen (*Esox lucius*) vähentyminen ulkosaaristossa (Kuva 7)³²
- nopea haahkakannan (*Somateria mollissima*) pienentyminen
- merimetsokannan (*Phalacrocorax carbo*) vahva kasvu
- aikaistunut lintujen kevätmuutto.

Muutokset ovat vähentäneet vedenalaisten elinympäristöjen monimuotoisuutta, mikä lisää hoitotoimenpiteiden ja ennaltaehkäisyn tarvetta. Kalastoon vaikuttavat ravintoverkon rakennemuutokset (esimerkiksi sinisimpukan väheneminen, arvokalan elinympäristön pieneneminen, sekä särkikalojen ja merimetsojen lisääntyminen) heijastuvat suoraan sekä virkistys- että ammattikalastuksen reunaehtoihin, ja myös niistä käytävään keskusteluun.

32 Lehtonen, H., Leskinen, E., Selén, R. & Reinikainen M. 2009. Potential reasons for the changes in the abundance of pike, *Esox lucius*, in the western Gulf of Finland, 1939–2007. Fisheries Management and Ecology 16(6):484–491.



Läntisen Suomenlahden muutoksia kuvaavia tieteellisiä pitkäaikaishavaintoja on kerätty Helsingin yliopiston Tvärminnen eläintieteellisen aseman ylläpitämään VACCIA-paikkatietojärjestelmään (<http://maps.tvärminne.helsinki.fi>). Avoimesta portaalista löytyy laajalti paikkatietoon sidottuja tieteellisiä julkaisuja, seurantojen tuloksia, sekä näiden visualisointia.

3.3.1.1 Sadannan muutokset korostavat rehevöitymisen hillinnän tarvetta

Itämeren keskeisin ympäristöongelma – rehevöityminen – uhkaa pahentua entisestään ympäristönmuutoksen myötä. Suurin haaste rehevöitymisen osalta ovat jo nyt maatalouden päästöt. Tämä haaste korostuu ilmastonmuutoksen paineen alla. Näin ollen ensisijainen sopeutumiskeino on varautua sadannan ja tulvien aiheuttaman huuhtoutuman vaikutuksiin suunniteltaessa maatalouteen suunnattuja toimia, kuten suojavyöhykkeitä, lannoitemääriä ja peltoalojen käyttöä.

3.3.1.2 Biomanipulaatio muutosten ehkäisynä

Lajistotason muutokset heijastavat samanaikaisesti tapahtuvia prosesseja, joista ilmastonmuutoksen lisäksi rehevöitymisellä on keskeinen rooli. Muutoksia voidaan paikallisesti pyrkiä ehkäisemään biomanipulaation avulla. Esimerkiksi järviruo'on (*Phragmites australis*) valtaamia elinympäristöjä voidaan ennallistaa mekaanisesti. Samoin särkikalajien biomassoja voidaan pienentää poistokalastuksella. Samalla merestä poistetaan ravinteita, ja muiden lajien kilpailuedellytykset saattavat parantua. On kuitenkin huomionarvoista, että nämä keinot eivät poista tai ehkäise muutosten syitä.

Muutosmekanismien ymmärtämisellä on suuri merkitys suunniteltaessa manipulaatiokeinoja. Esimerkkinä mainittakoon, että merimetsojen (*Phalacrocorax carbo*) kannan säätelyä on usein esitetty keinoksi kalaston elvyttämiseksi. Pitkäaikaissarjat osoittavat kuitenkin kalaston voimakkaita muutoksia jo kauan ennen merimetsokannan voimistumista. Sopeuttaminen manipulaation keinoin on siis haastavaa ja vaatii ravintoverkon toiminnan kattavaa ymmärrystä ja kokonaisajattelua.

3.3.1.3 Keskeiset tutkimus- ja selvitystarpeet

Ravinteiden mahdollinen lisääntynyt huuhtoutuminen sadannan ajoituksen ja määrien muutosten johdosta on tunnistettu riskiksi. Vaikutusmekanismeja ei kuitenkaan tunneta vielä tarpeeksi hyvin. Tarvittavia lisätutkimuksia ovat mm.

- Ravinnehuuhtoutumien ja meteorologisen mittaustiedon välisten suhteiden tarkempi selvittäminen
- Maaperän ravinteiden käyttäytymisen tutkiminen eri sadantaskenaariorissa (esim. kuivat kesät – sateiset syksyt).

Ilmastonmuutoksen tuottamien rehevöitymisongelmien osaratkaisuksi on ehdotettu biomanipulaatiota. Lisätietoa kuitenkin tarvitaan mm.

- Lajien välisistä vuorovaikutussuhteista merellisissä ekosysteemeissä.

- Särkikalojen poistokalastuksen todellisista ekosysteemitason vaikutuksista.
- Biomanipulaation vaikutuksista muihin lajeihin.

3.3.2

Perämerellä niittyvyöhyke kapenee ja tuulitulvat yleistyvät

Ilmaston lämpenemisen myötä sadannan ja tuulitulvien ennustetaan lisääntyvän, jolloin on odotettavissa, että Pohjanlahden pohjoisosissa vallitsevien alavien niittyjen kosteusolosuhteet muuttuvat. Etelämpänä Suomen rannikoilla tämä prosessi ei liene yhtä laajamittainen. Erityisesti Perämerellä meriveden korkeuden nousu hidastaa maankohoamisen aikaansaamaa uuden maarannan paljastumista ja kevätkeisäiset lyhytaikaiset tuulitulvat voivat yleistyä (tuulitulvilla tarkoitetaan veden korkeuden nousua tietynsuuntaisilla tuulilla, kun vesi patoutuu lahden pohjukkaan).

Kun uuden maarannan paljastuminen hidastuu, matalakasvuinen niittyvyöhyke kapenee. Nykytilanteessakin Perämeren maankohoamisrannan kasviyhteisöjen sukkessio etenee nopeasti ja matalakasvuisen niityn alimman vyöhykkeen lajien peittävyys voi havaita selvästi pienenevän jo viiden vuoden seurannassa. Kun maarannan paljastuminen hidastuu, matalakasvuinen niittyvyöhyke kapenee. Silloin tästä elinympäristöstä riippuvaisen eliöstön elintila sekä vähenee että huononee. Tuulitulvien runsastuminen kevätkeisällä heikentää alavilla rannoilla pesivien lintujen, erityisesti sorsa- ja rantalintujen, lisääntymismenestystä. Tulvatuhot vaikuttavat lisääntymismenestykseen suoraan kun pesät tuhoutuvat, mutta myös viivästyttämällä pesintää uusintapesien osuuden kasvaessa. Myöhäisten pesueiden jälkeläistuotanto on monilla lajeilla aikaisia matalampi. Kasvillisuuden osalta tuulitulvilla voi olla sekä kielteisiä että myönteisiä vaikutuksia.

Suomen lajien uhanalaisuus -raportissa³³ todettiin rantojen olevan ensisijainen elinympäristö merkittävälle osalle (12,9 %) Suomen uhanalaisista lajeista. Raportissa umpeenkasvu todettiin selkeästi merkittävimmäksi uhkatekijäksi. Umppeenkasvukehitys on

useamman prosessin tulos, ja sitä on pyritty aktiivisesti hidastamaan erilaisin hoitotoimin. Ilmastonmuutosta ja sen seurauksia ei kuitenkaan ole voitu ottaa hoitotoimissa huomioon eikä uhanalaisraportissakaan ilmaston muuttumista ole vielä katsottu merkittäväksi uhkatekijäksi. Seuraavassa käsitellään ilmastonmuutoksen elinympäristövaikutuksia käyttämällä esimerkkeinä kolmea uhanalaista eliötä, joiden biologiaa on tutkittu Perämeren rannikolla VACCIA-hankkeessa.



Kuva 8. Pohjansorsimo (*Arctophila fulva* var. *pendulina*). Kuva: Marko Hyvärinen.

3.3.2.1 Uhanalaisia sorsimoita uhkaa rantaniittyjen umpeenkasvu

Uhanalainen (endangered, EN; Kansainvälisen luonnonsuojeluliiton (IUCN) uhanalaisuusluokitus) pohjansorsimo (*Arctophila fulva* var. *pendulina*) (Kuva 8) kasvaa Perämeren rantaniittyjen kosteimmissa osissa, usein vesirajassa tai paljaalla mudalla. Laji on kasvullisen lisääntymisen varassa, elin-

33 Rassi, P., Hyvärinen, E., Juslén, A. & Mannerkoski, I. (toim.) 2010: Suomen lajien uhanalaisuus — Punainen kirja 2010. Ympäristöministeriö ja Suomen ympäristökeskus, Helsinki. 685 s.

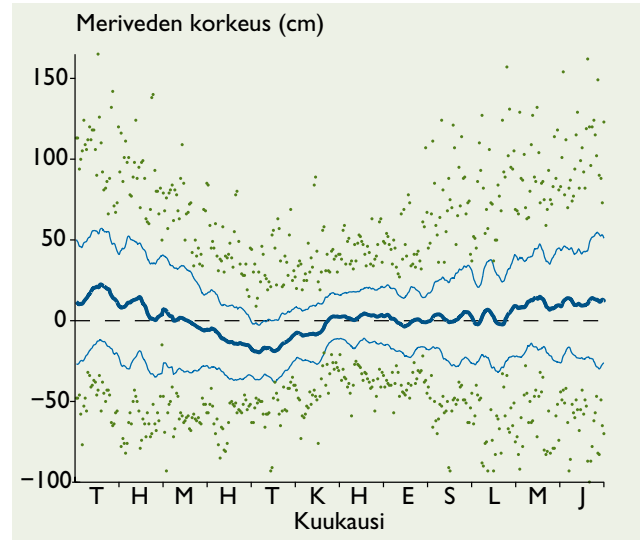
kykyisiä siemeniä ei Perämeren populaatioissa ole tavattu. Rönsysorsimon (*Puccinellia phryganodes*) ekologiset vaatimukset ja uhkatekijät muistuttavat monessa suhteessa pohjansorsimoa ja kasvupaikat keskittyvät voimakkaasti jääeroosiovaikutteisten rantojen alimmalle niittyvyöhykkeelle. Rönsysorsimoa on jäljellä koko EU:n alueella enää kaksi esiintymää Perämerellä ja lajin uhanalaisuusluokitus on äskettäin nostettu äärimmäisen uhanalaiseen (critically endangered, CR).

Sekä pohjansorsimoa että rönsysorsimoa uhkaa paikallisesti rantaniittyjen umpeenkasvun myötä lisääntyvä kilpailu muiden heinien, kuten järviruo'on (*Phragmites australis*) ja rönsyröllin (*Agrostis stolonifera*), kanssa. Menestyäkseen lajit tarvitsevat rantavyöhykkeeseen vapaata kasvualaa muodostavia häiriöitä, kuten jäiden liikkeen ja vedenkorkeuden vaihteluiden (Kuva 9) aiheuttamaa kasvillisuuden vaurioitumista. Nämä häiriötekijät irrottavat kasvustoista versonkappaleita ja siten levittävät lajeja paikallisesti. Rönsysorsimon menestykseen vaikuttaa lisäksi erityisesti hanhien laidunnus matalilla rantaniityillä. Pehmeärakenteisena ja ilmeisen maittavana rönsysorsimo on alueella sulkivien ja pesivien merihanhien suosimaa ravintoa. Rönsysorsimo kestää kuitenkin hyvin laidunnusta, erityisesti kun laidunnus vähentää myös sen kanssa kilpailevien heinien kasvua.

3.3.2.2 Tulvat ja pedot vaarana etelänsuosirrin lisääntymismenestykselle

Uhanalaisten lajien osalta myös satunnaisten tulvien vaikutus populaatioiden elinkykyyn käy entistä suuremmaksi, kun ilmasto muuttuu. Rantojen kahlaajista etelänsuosirri (*Calidris alpina schinzii*) (Kuva 10) on suosirrin erittäin uhanalainen (CR) alalaji. Tämän pienikokoisen kahlaajan pesistä osa tuhoutuu tuulitulvissa, mutta tällä hetkellä pedot ovat merkittävämpi uhkatekijä lisääntymismenestykselle.

Merkittävä osa, noin 80%, Suomen etelänsuosirreistä pesii Perämeren laidunnetuilla rantaniityillä. Näissä ympäristöissä myös karja tuhoaa pesiä (Kuva 11). Lisäksi pesät ovat alttiita petojen aiheuttamille tuhoille. Petotuhoja voidaan vähentää pesää suojaavalla metaliverkolla, joka on kyllin tiheää estääkseen suurikokoisempien petolintujen pääsyn pesälle, mutta riittävän harvasilmäistä jotta emon pääsy pesälle ei esty. Etelänsuosirripopulaation pesintämenestyksen kannalta tärkeimmäksi tekijäksi osoittautui tutkimuksissa karjanlaidunnuksen vähentäminen ja laidunnuksen alun viivästyttäminen pesimäalueella. Tulvatuhojen merkitys voi kasvaa tulevaisuudessa suureksi, mutta niiden aktiivinen estäminen on tulvan sattuessa vaikeata. Estäminen edellyttäisi nopeaa reagointia vedenkorkeuden nousuun, runsasta työvoimaa ja tietoa yksittäisten



Kuva 9. Meriveden korkeuden vaihtelu Oulun Vihreäsaaren mittauspisteessä vuosina 1990–2011. Paksu viiva ilmaisee viikon liukuvan keskiarvon ja ohuet viivat keskihajonnan. Pisteet ovat vedenkorkeuksien päiväkeskiarvojen suurimpia ja pienimpiä arvoja. Rantavyöhykkeen kasvit, kuten pohjansorsimo (*Arctophila fulva* var. *pendulina*) ja rönsysorsimo (*Puccinellia phryganodes*) tarvitsevat vedenkorkeuden vaihtelun ja jään liikkeiden kasvualaa vapauttavia häiriöitä. Toisaalta meriveden tulviminen matalille rantaniityille touko-kesäkuussa on uhka niillä pesivälle etelänsuosirille (*Calidris alpina schinzii*). Aineisto: Ilmatieteen laitos.



Kuva 10. Etelänsuosirri (*Calidris alpina schinzii*). Kuva: Petri Koivisto



Kuva 11. Liharotuinen nautakarja laiduntaa Perämeren matalaa rantaniittyä Hailuodon Kutukarilla. Karjan tallaus heikentää merkittävästi uhanalaisen etelänsuosirrin (*Calidris alpina schinzii*) pesimismenestystä. Kuva: Marika Niemelä.

pesien sijainnista. Pidemmällä aikavälillä onkin tehokkaampaa keskittyä suosimaan pesätuhoja vähentäviä laidunnuskäytäntöjä mm. valitsemalla hoitokohteet niin, että ne eivät ole alttiina tuulitulville.

3.3.2.3 Kohdennettu ennallistamismenetelmä edistää sopeutumista

Vedenkorkeuden vaihtelut ja siinä tapahtuvat muutokset vaikuttavat eri tavalla pohjan- ja rönsysorsimoon sekä etelänsuosirriin. Rantavyöhykkeen sorsimolajien menestymisen edellyttää vedenkorkeuden vaihteluiden aiheuttamaa häiriötä, kun taas pesimäaikaan ajoittuvat tulvat ovat tuhoisia etelänsuosirrin poikastuotannolle. Pohjansorsimo ja etelänsuosirri eivät esiinny samoilla paikoilla, mikä helpottaa lajien erilaiset vaatimukset huomioivaa rantaniittyjen ennallistamis- ja hoitokohteiden sekä ennallistamismenetelmien valintaa. Sen sijaan rönsysorsimon suosima matalakasvuinen hanhien laiduntama suolakkonniitty on myös etelänsuosirille sopiva pesimäympäristö. Pohjansorsimon ja rönsysorsimon kasvupaikoilla on varmistettava luontaisen häiriödynamiikan jatkuvuus välttämällä tähän vaikuttavia maankäytön muotoja, kuten veden tai jäiden liikkeitä muuttavien rakenteiden sijoittamista kriittisille alueille. Etelänsuosirrin pesimäalueilla mahdolliset vedenkorkeuden vaihtelut tulisi sen sijaan pyrkiä saamaan mahdollisimman vähäisiksi esimerkiksi parantamalla rantojen tulvasuojelua.

3.3.2.4 Laidunnus rantaniittyjen elvyttäjänä

Moni umpeenkasvanut merenranta-alue on saatu takaisin hoidon piiriin EU:n maatalouden ympäristötuen avulla. Esimerkiksi Perämeren rannikolla perinnebiotooppien erityistuella hoidettavia merenrantaniittyjä on jo yli 2500 hehtaaria. Noin 90 % tästä pinta-alasta hoidetaan laiduntaen ja loput niittäen. Laidunten kokonaisalasta valtaosalla laidunnetaan nautakarjaa ja vajaalla 15 %:lla lampaita tai ne ovat hevos-/sekalaitumina. Nautakarjalaidunten pinta-alasta 90 % on lihakarjan (pääosin emolehmien) ja loput maitorotuisten hiehojen laiduntamia. Rantojen hoitokäytännöissä on tapahtunut suuri muutos verrattuna 1900-luvun alkuun, jolloin niitto oli toinen keskeinen hoitomuoto ja laiduntava karja lähes kokonaan maitorotuista.

Karjan laidunnus on saanut rantaniityillä aikaan toivottuja hoitotuloksia: kasvillisuus on matalampaa ja matalakasvuisia lajeja (mm. suolakkolajeja) esiintyy yleisemmin kuin hoitamattomilla niityillä. Lihakarjan laiduntamalla rantaniityillä kasvillisuus on usein kattavammin syötyä ja kariketta on vähemmän eli kasvillisuus on avoimempaa kuin maitorotuisten hiehojen laitumilla. Laiduntajista keskikokoiset liharodut tulevat paremmin toimeen luonnonlaidunten niukalla rehulla kuin isot liharodut. Myös maitorotuiset hiehot soveltuvat hyvin rantaniittyjen laiduntajiksi. Eläinaines (rotu, fysiologinen tila) ja eläinmäärät voitaisiin sovittaa nykyistä paremmin vastaamaan rantalaidunten ravintotarjontaa. Kevyemmät naudat voivat jatkossa olla sopivampia laiduntajia myös luonnonhoidon kannalta, mikäli tuulitulvat yleistyvät ja pehmentävät rantaniittyjen maaperää. Riittävän laajojen avointen niittyjen säilyttämiseksi rannan yläosien hoito on jatkossa entistä tärkeämpää. Tämä voi myös tarkoittaa niittyelinympäristöjen luomista varsinaisen rantavyöhykkeen yläpuolelle.

Ympäristönhoitotoimien ja erityisesti laiduntamalla palautettujen ja ylläpidettyjen elinympäristöjen arvon voi odottaa kasvavan tulevaisuudessa, mikä vaikuttaa myös näitä koskevaan maatalouden erityisympäristötukeen. Päädetessä tuen kohdentamisesta hoitotavoitteiden painoarvo kasvaa suhteessa elinkeinon kannattavuuteen liittyviin tavoitteisiin. Hoidon kannattavuus on kuitenkin turvattava, jotta toiminnalle on edellytykset jatkossakin. Jos hoitotoimia halutaan laajentaa rantavyöhykkeen yläpuolelle, maanomistusolosuhteet, erityisesti yhteismaiden vähyys, voivat vaikeuttaa hoitohankkeiden suunnittelua. Linnustovaikutusten vuoksi laidunkautta tulee tarvittaessa lyhentää alkukesästä, mikä saattaa lisätä karjan ruokintakustannuksia.

3.3.2.5 Keskeiset tutkimus- ja selvitystarpeet

- Matalakasvuisten rantojen uhanalaisten kasvien populaatioiden seurannan jatkaminen jotta saataisiin luotettava käsitys häiriötekijöiden ja populaatioiden kasvunopeuden välisestä tasapainosta ja ilmastonmuutoksen vaikutuksesta häiriötekijöiden esiintymistiheyteen ja voimakkuuteen.
- Ilmaston muuttumisen vaikutukset rantavyöhykkeen selkärangattomiin eliöihin ja edelleen ravinnonsaannin kautta vaikutukset lintujen lisääntymismenestykseen.
- Rantavyöhykkeen eliöstön tarkempi kuvailu muutosten havaitsemiseksi ja seuraamiseksi.
- Matalakasvuisten niittyjen ennallistamisen ja hoitotapojen vaikutusten tutkiminen ml. keskeisiä uhanalaisia lajeja koskeva vaikutusanalyysi, jossa otetaan huomioon lajin koko elinkierto.
- Merenrantalaitumien hoidossa käytetyn karjatyypin muutoksen (perinteinen maitorotuinen karja korvautunut lihakarjalla) vaikutukset niittyjen kasvillisuuteen.
- Merenrantalaidunnuksen ympäristövaikutusten ja eläinten hyvinvoinnin sekä hoitotoimien kannattavuuden tutkiminen.

3.4

Kaupunkiympäristöt

Heikki Setälä, Jussi Kulonpalo, Jari Niemelä, Heikki Loikkanen, Mari Vaattovaara, Matti Korttinen, Olli Ruth, Vesa Yli-Pelkonen

3.4.1

Muutokset kaupunkiympäristön ekosysteemipalveluissa

VACCIA:n Kaupunkiympäristöt-osahankkeen tavoitteena on ollut selvittää kaupunkialueiden maankäytön ja ilmastonmuutoksen yhteisvaikutuksia kaupunkiympäristön toimivuudelle ja sen puitteissa ekosysteemipalveluille.

Ekosysteemipalveluilla on erityisen tärkeä rooli kaupungeissa, joissa niistä vastaavat lähinnä kaupunkien viheralueet. Palveluihin lukeutuvat mm. ilman puhdistaminen, veden suodattaminen ja puhdistaminen, kaupunkiperäisten haitta-aineiden myrkyttömiksi tekeminen, ilmakehän hiilidioksidin sitominen ja tulvariskin sekä muiden hulevesiin (sateesta ja lumen sulamisesta peräisin oleva valumavesi taajama-alueella) liittyvien haittojen vähentäminen. Kaupunkien vihreät alueet, kaupunkivihreä, on laajemmin ymmärrettynä myös esteettinen arvo, joka muodostaa usein kulttuurihistoriallisesti arvokkaan osan rakennettua ympäristöä. Lisäksi kaupunkivihreä tuottaa ns. kulttuurisia ekosysteemipalveluita, kuten virkistyspalveluita.

Keskeisiä lähitulevaisuudessa nähtävissä olevia muutoksia kaupunkiympäristön ekosysteemipalveluissa ovat sademäärän kasvu ja ilmaston lämpeneminen. Nämä muutokset johtavat lisääntyneeseen huleveden määrään ja sen laadun heikkenemiseen erityisesti alueilla, joilla pinnoitetun alueen osuus on suuri. Hulevesivaikutukset ovat paitsi paikallisia eli valuma-aluekohtaisia myös alueellisia näkyen muun muassa pintavesien saastumisena ja jokipenkköjen maa-ainesten poiskulkeutumisena eli erodoitumisena. Aiempi tutkimus on osoittanut kaupunkirakenteen tiivistämisen vaikuttavan ekosysteemipalveluita tuottavan kaupunkivihreän määrään ja laatuun sekä kaupunkihydrologiaan. Monin paikoin alentuneen pohjaveden tason ja huonontuneen laadun sekä erilaisten pintavesiongelmien voidaan katsoa johtuvan elävän, ”vapaasti hengittävän” maaperän puutteesta.

Kaupunkiympäristön ekosysteemipalveluiden merkitys erityisesti pohjoisissa ilmasto-oloissa nostaa esiin muun muassa seuraavia keskeisiä kysymyksiä:

- Mitkä kaupunkiympäristön ekosysteemipalvelut ovat erityisen tärkeitä?
- Mikä on kaupunkien todellinen kyky ja kapasiteetti tarjota ekosysteemipalveluita asukkailleen?
- Miten ekosysteemipalvelut voitaisiin tehokkaimmin ottaa mukaan kaupunkisuunnitteluun suunnittelijoiden työkaluna?

3.4.2

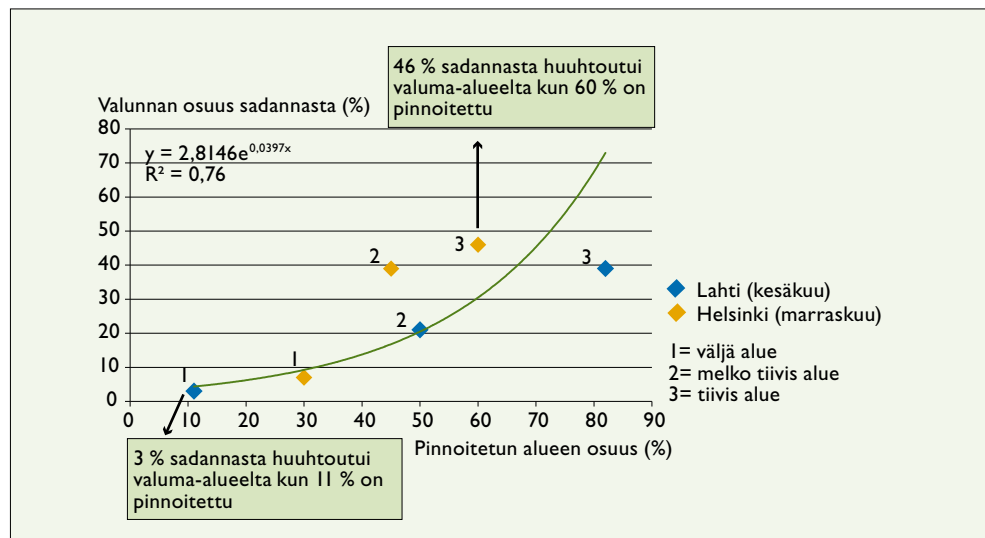
Kaupunkirakenteen tiivistyminen tulevaisuuden haasteena

Kaupunkirakenteen tiivistyminen on ekosysteemipalvelujen ja yleisemmällä tasolla kaupunkiluonnon näkökulmasta kaupunkiympäristön keskeisimpiä tulevaisuuden sopeutumishaasteita. Kaupungistumisen edetessä ilmaston lämpenemisen hillintä ja siihen sopeutuminen pakottaa suuria metropolialueita tiivistämään yhdyskuntarakenteitaan esimerkiksi uusia asuinalueita suunniteltaessa ja toisaalta täydennysrakentamalla vanhempia alueita.

Usein käytetty perustelu tiiviimmän kaupunkirakenteen puolesta liittyy lyhyempien työmatkojen sekä joukkoliikenneverkoston kehittämisen ja, lähempänä sijaitsevien palveluiden myötä, vähenevään yksityisautoilun tarpeeseen ja sen seurauksena yhdyskuntien vähenevään hiilidioksidin tuottoon. Vaikka uusien, aiempaa ympäristöystävällisempien teknisten ja kaupunkisuunnittelullisten ratkaisujen kehitys etenee, yhä tiiviimpi rakennettu ympäristö merkitsee vääjäämättä kaupunkivihreän vähenemistä ja siten niukempia paikallisia ekosysteemipalveluita.

Kun ilmastonmuutoksen etenemisen myötä sademäärien on ennustettu lisääntyvän jopa 15 – 20 %, rakennetun ja vettä läpäisemättömän pinta-alan lisääntyminen kaupungeissa merkitsee kasvavaa taajamatulvien riskiä. Toisenlaisen kaupunkisuunnittelun avulla saattaisi olla mahdollista nostaa vettä läpäisevien pintojen suhteellista määrää korkean väestötiheyden alueella. Hulevesien imeyttäminen maahan läpäiseviä pintoja lisäämällä tarjoaa varteen otettavan vaihtoehdon hulevesiongelman ratkaisuun kaupunkiympäristössä (Kuva 12).

Kaupunkirakenteen tiiviyn ei esimerkiksi tarvitse automaattisesti merkitä rakennettujen alueiden väliin jääneiden rakentamattomien alueiden rakentamista vaan kyse on myös siitä, missä määrin kaupunkia voi tiivistää ylöspäin ja alaspäin. Lukuisat esimerkit maailmalta osoittavat, että innovatiivisin, uudentyyppisin, suunnittelullisin



Kuva 12. Huleveden määrä suhteessa pinnoitettuun maa-alaan Lahden ja Helsingin mittausalueilla. Mitä suurempi ala maaperästä on pinnoitettu, sitä vähemmän sataneesta vedestä imeytyy maaperään ja sitä suurempi määrä poistuu alueelta hulevetenä.

ja teknisin ratkaisuin on mahdollista säästää maapinta-alaa tiivistämällä kaupunkia pystysuunnassa.

Vaikka kaupunkirakenteen tiivistäminen saattaa yleisellä tasolla olla tehokas keino hiilidioksidin määrän vähentämiseksi on selvää, että kaupunkiympäristössä on muitakin vakavia haasteita, jotka jätetään helposti huomiotta. Sopeutuminen ilmastonmuutokseen vaatii kokonaisvaltaista näkemystä, missä ymmärretään, että yhden sopeutumistoimen liiallinen korostaminen voi pahentaa tilannetta toisaalla. Tieteellinen tutkimus on avainasemassa kyseisten ilmiöiden seurauksien ymmärtämisessä.

Kaikki ekosysteemipalvelut eivät ole korvattavissa erilaisilla rakennus- ja ympäristöteknisillä ratkaisuilla. Kaupunkirakenteen kehittäminen, kuten esim. tiiviimpi rakentaminen, voi uhata ekosysteemipalveluiden turvaamista. Moniin viheralueisiin kohdistuu erilaisia paineita, tavoitteita ja tarpeita. Erilaisten tarpeiden yhteensovittamisessa joudutaan toisinaan ristiriitatilanteisiin, jolloin poliittiset arvovalinnat ja vaikeat päätökset ovat välttämättömiä. Ekosysteemipalveluiden arvottaminen on haastavaa. Erilaisten ratkaisujen tuottamia hyötyjä sekä mahdollisia ekosysteemipalveluiden kärsimiä haittoja tulisi tarkastella. Suomessa kaupunkisuunnittelua ohjaavat erilaiset lait ja määräykset, jolloin välineitä ja mahdollisuuksia haasteisiin vastaamiseksi on saatavilla.

3.4.3

Keskeiset tutkimus- ja selvitystarpeet

- Kaupunkien ja kaupunkiympäristöjen toimivuus ns. todellisina laboratorioina ilmastonmuutoksen seurauksia selvitettyä.
- Eri ekosysteemipalvelujen herkkyys esimerkiksi ilmaston lämpenemiselle, rakentamiselle, asuinalueiden sosioekonomiselle rakenteelle, tai muille vastaaville ilmiöille.
- Selvitys mahdollisuuksista arvottaa ja arvioida ekosysteemipalveluita sellaisin indikaattorein, jotka olisivat yhteensopivia taloudellisten mittareiden kanssa osana kaupunkisuunnittelua.

3.5

Monimuotoisuuden *ex situ* -suojelu ekosysteemipalvelujen turvaajana

Marko Hyvärinen, Mari Miranto, Ritva Hiltunen, Leif Schulman

Ex situ -suojelulla tarkoitetaan lajien suojelua varsinaisen elinympäristönsä ulkopuolella, ja se on otettu viime vuosikymmeninä kansainvälisesti yhä lisääntyvässä määrin käyttöön osana luonnon monimuotoisuuden säilyttämistä. Hallinnollisesti *ex situ* -suojelun käyttöönottoa on pyritty edistämään kansainvälisillä sopimuksilla, jotka määrittelevät suhteellisen tarkat tavoitteet lajistonsuojelulle³⁴. Myös Suomen valtio on sitoutunut näihin kansainvälisesti asetettuihin suojelutavoitteisiin ja kasvistonsuojelun osalta mm. siihen, että 60 % uhanalaisista lajeista olisi ollut vuoden 2010 loppuun mennessä *ex situ* -suojelun piirissä ja 10 % olisi mukana ohjelmissa, jotka tähtäävät lajien palauttamiseen luontoon ja luonnonpopulaatioiden vahvistamiseen. Nytemmin Biodiversiteettisopimuksen 10. osapuolikokouksen päätösten³⁵ myötä tavoitetta on nostettu siten että vastaavat luvut ovat 75 % ja 20 %.

34 CBD 2002 Strategy for Plant Conservation. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal.

35 10th meeting of the Conference of the Parties to the Convention on Biological Biodiversity, 18-20 October 2010 - Nagoya, Aichi Prefecture, Japan. <http://www.cbd.int/decisions/cop/?m=cop10>, 15.11.2011

Näiden suojelutavoitteiden toteutumista Suomessa ei ole kartoitettu ennen VACCIA-hanketta. Esitutkimusten jälkeen todettiin Suomessa uhanalaisten luonnonkasvien *ex situ* -suojelun keskittyvän kokonaan Oulun, Helsingin, Turun ja Joensuun yliopistojen kasvitieteellisiin puutarhoihin, joiden elävät kokoelmat ja niihin liittyvät alkuperätiedot käytiin yksityiskohtaisesti läpi. Kun *ex situ* -suojelun piirissä olevat lajit olivat selvillä, arvioitiin myös suojelutoimien riittävyys yksittäisten populaatioiden geneettisen edustavuuden kannalta (mm. suojellun populaation yksilömäärät), alkuperätietojen tarkkuus sekä mahdollinen säilytystavasta johtuva risteytymisvaara lähilajien kanssa.

Tulosten mukaan yhteensä 77 eri alkuperää 56:sta uhanalaisesta putkilokasvilajista on jonkintasoisen *ex situ* -suojelun piirissä. Tämä on n. 18 % uhanalaisten lajien määrästä ja jää siten huomattavan paljon jälkeen sovitusta kansallisesta 60 % tai osapuolisopimuksen 75 % tavoitteesta. Myös huomattavia laadullisia puutteita havaittiin, sillä usein yksilömäärät olivat liian pieniä, jotta alkuperäispopulaatioiden geneettinen monimuotoisuus saataisiin suojeltua. Tämän syynä on mm. se, että kasvitieteellisten puutarhojen kokoelmia ei ole alun perin suunniteltu luonnonsuojelubiologisesta näkökulmasta. Tässä suhteessa Suomen tilanne on hyvin samanlainen kuin muissa maissa.³⁶ Alkuperätiedot ja arvioitu kantojen geneettinen puhtaus olivat kuitenkin paremmassa kunnossa kuin keskimäärin kansainvälisesti.

3.5.1

Toimintaohjelmalla kohti tavoitetta

Tulosten perusteella on laadittu Suomen kansallinen kasvistonsuojelun *ex situ* -toimintaohjelma (Työpaketti 11 liitteessä 6), joka sisältää 11 käytännön tavoitetta. Ohjelman yleistavoitteena on saavuttaa vuoteen 2016 mennessä 40 %:n taso Suomen uhanalaisten putkilokasvien suojelussa. Tämä tarkoittaisi 50 uuden taksonin (lajin, alalajin tai variaation) keräämistä aiemmin kerättyjen 22:n lisäksi. Lisäksi aineistojen säilytys järjestetään niin, että läheisten taksonien aiheuttamaa risteytymisuhkaa ei ole. *Ex situ* -suojelun geneettinen edustavuus varmistetaan keräämällä aineistot mahdollisuuksien mukaan useasta populaatiosta ja riittävän monesta yksilöstä. Jos on mahdollisuus kerätä siemeniä, populaatiokohtainen yksilömäärä on 50–200 lajista riippuen.

Luonnonkasvien *ex situ* -suojelun laajempi toteuttaminen vaatii asianmukaisen infrastruktuurin kehittämistä. Tämä tarkoittaa kansallisen luonnonkasvien siemenpankin perustamista. Vastaavasti niiden luonnonkasvien, jotka eivät tuota säilyvää siementä sekä joidenkin sanikkaisten *ex situ* -suojelua voidaan kehittää mikrolisäämistä ja kryosäilytystä käyttäen. Kryosäilytys on menetelmä, jossa kasvin kasvupisteitä pitkäaikaissäilytetään nestetyypeissä (–196 °C) tai sen kaasufaasissa (alle –150 °C). Tässä voidaan osin hyödyntää olemassa olevaa infrastruktuuria. Tämän rinnalla on syytä säilyttää ja kehittää eläviä ulkopuutarhakokoelmia, joihin tämänhetkinen luonnonkasvien *ex situ* -suoja perustuu. Tämän lisäksi tarvitaan *ex situ* -suojelun kartoitusta itiökasviryhmiä osalta (sanikkaiset, sammalet, sienet ja jäkälät).

3.5.2

Lisätutkimukset ja -selvitykset

- Uhanalaisten itiökasvien *ex situ* -suojelutilanteen ja tarpeen selvittäminen.
- Tieteellisten kriteerien luominen uhanalaisten kasvien valitsemiseksi *ex situ* -suojaan ja prioriteettilistan luomiseksi.
- Suomen kansallisen *ex situ* -suojaohjelman toteuttaminen ja integrointi kansainvälisiin sopimuksiin.

³⁶ Wyse Jackson, P.S. & Sutherland, L.A. 2000. International Agenda for Botanic Gardens in Conservation. Botanic Gardens Conservation International, U.K. 56 s. <http://www.bgci.org/education/2304/>

4 Elinkeinojen on sopeuduttava

4.1

Maatalous

Kati Komulainen, Juha Helenius, Pirjo Peltonen-Sainio, Katri Rankinen, Kaija Hakala, Hannu Ojanen, Kirsti Granlund

4.1.1

Kasvukausi pitenee, kylvöt aikaistuvat

Suomessa viljelykasvien kasvukausi on kevään keskilämpötilojen nousun myötä pidentynyt havaittavasti viimeisen sadan vuoden aikana. Viljelijät ovat viime vuosikymmenien aikana varovaisesti mukautuneet muutokseen aikaistamalla kylvöjä. Ilmaston lämpenemisen edetessä kevät aikaistuu edelleen ja kylvötoihiin päästään aiemmin. Esimerkiksi jaksolla 2011–2040 kylvöjen odotetaan aikaistuvan viikolla nykyiseen verrattuna. Syyspuolella kasvukausi sen sijaan ei pitene, sillä valon määrä vähenee nopeasti päivien lyhentyessä. Kevään ja kesän korkeammat lämpötilat kasvattavat tehoisan lämpötilan eli kasvukauden aikaisten päivittäisten keskilämpötilojen summaa. Lämpeneminen ja pitenevä kasvukausi mahdollistavat peltoviljelykasvien suuremmat sadot ja nykyistä laajemman viljelykasvivalikoiman käyttöönoton. Tämä edellyttää kuitenkin viljelyn sopeuttamista uusiin olosuhteisiin: viljelykasveja on jalostettava ja viljelyjärjestelmiä kehitettävä.

Ilmastomuutos ei ole ainoa sosio-ekologista tuotantoympäristöä koskeva muutosprosessi, vaan siihen sopeutuminen on tapahtunut ja tapahtuu jatkossakin samanaikaisesti maatalouden jatkuvan rakennemuutoksen (tilamäärän jyrkkä lasku, alueellinen ja tilakohtainen erikoistuminen, tilakoon kasvu), pitkälle globaalistuneiden markkinoiden muutosten ja EU:n yhteisen maatalouspolitiikan jatkuvan muutoksen kanssa.

4.1.2

Vaihtelevat sääolot lisäävät maatalouden haavoittuvuutta

Satoja uhkaavien sään ääri-ilmiöiden kuten rankkasateiden, pitkien sadejaksojen, tulvien, myrskyjen ja kuivuusjaksojen odotetaan lisääntyvän ilmastomuutoksen edetessä, samoin epätavallisen korkeiden kesä- ja talvilämpötilojen. Talvisin lumipeite tulee entistä useammin sulaan maahan, sula- ja pakkasjaksot vuorottelevat ja lumipeite jää keskimäärin ohuemmaksi kuin ennen. Toisaalta kevät-pakkaset eivät kokonaan häviä, vaan voivat edelleen vaarantaa sadon. Maan kasvukunto on vaarassa heikentyä, kun vähälumiset, vesisateiset talvet ja rankkasateet sekä tulvat lisäävät eroosiota ja maaperän tiivistymisen riskiä. Lämpimämmässä ilmastossa myös monet tuholaiset, taudit ja rikkakasvit menestyvät entistä paremmin, ja viljely-ympäristöömme voi kotiutua uusia haitallisia tulokaslajeja.

Maatiloilla on aina jouduttu sopeutumaan vaihteleviin sääoloihin, mutta kasvukausien välisen vaihtelevuuden ja ääri-ilmiöiden lisääntyminen vaatii viljelijöiltä entistä enemmän muun muassa taloudellista kykyä puskuroida aiempaa suurempi vaihtelu satojen määrissä ja laaduissa. Ääri-ilmiöiden lisääntyminen muualla maatalouden tuotantoalueilla uhkaa heikentää satoja eri puolilla maailmaa ja on omiaan aiheuttamaan rajujakin heilahteluja maataloustuotteiden maailmanlaajuisilla markkinoilla. Pohjoisen maatalouden merkitys ruokaturvan varmistamisen kannalta voikin kasvaa.

Olosuhteiden vaihtelu ja kannattavuus luovat haasteita

Lämpenemisen vaikutukset ovat suomalaisen maataloustuotannon kannalta toisaalta myönteisiä, toisaalta kielteisiä. Esimerkiksi leudommat talvet mahdollistavat syyskylvöisten lajikkeiden viljelyn lisäämisen, mutta samalla talvehtimisen riskit syyskylvöisillä kasveilla lisääntyvät talviolosuhteiden vaihtelevuuden myötä. Useiden nykyisten viljelykasvilajikkeiden satoisuus heikkenee lämpötilan noustessa, koska korkeampi lämpötila sadonmuodostusvaiheessa kiihdyttää tuleentumisen ennenaikaiseksi. Lisäksi kasvukauden alussa kuivuus voi tulla satoa rajoittavaksi tekijäksi, sillä sateiden odotetaan lisääntyvän vain kasvukauden loppupäässä, jolloin niistä on ennemminkin haittaa. Keskilämpötilojen kohoamisesta huolimatta talvi ja kylmät jaksot kasvukaudella eivät ole katoamassa kokonaan, joten viljelykasveilta vaaditaan jatkossakin kylmänkestävyyttä. Kotimaisen kasvinjalostuksen on kyettävä tuottamaan uusiin olosuhteisiin sopeutettuja lajikkeita, mikä vaatii lisää resursseja.

Ilmastomuutos merkitsee uusia haasteita maatalouden vesiensuojelulle. Nykyiset menetelmät eivät ole olleet riittävän tehokkaita vähentämään maatalouden ravinnekuormitusta asetettujen tavoitteiden mukaisiksi edes nykyisissä olosuhteissa. Entistä useammin toistuvat lämpimät, vesisäteiset talvet sekä lisääntyvät rankkasateet ja tulvat lisäävät eroosiota ja ravinteiden huuhtoutumista. Lisäksi typen vapautuminen maaperästä kiihtyy, kun maaperän eloperäinen aines hajoo lämpimämmässä ilmastossa nopeammin. VACCIA-hankkeessa ilmastomuutostietoa on tarkennettu Etelä-Suomessa sijaitsevalle Lepsämänjoen valuma-alueelle, joka on osa Vantaanjoen valuma-aluetta. Osahankkeen tavoitteena oli tuottaa paikallistason esimerkki ilmastomuutoksen vaikutuksista tuotantokasvivalikoimaan, panoskäyttöön, ravinteiden huuhtoutumiseen ja eroosioon, biologiseen monimuotoisuuteen viljely-ympäristössä sekä maatalousekosysteemien tarjoamiin palveluihin. Mallinnuksen mukaan ilmastomuutos lisää tällä eroosioherkällä alueella kiintoainekuormitusta noin 15 %, mutta epäorgaanisen typen kuormitusta vain noin 5 %.

Viljelijöiden huolena ovat tuotannon kannattavuusongelmat, isoista investoinneista koituneiden velkojen hoito ja tukijärjestelmien jatkuvien muutosten aiheuttama epävarmuus. Viljelijät ovat huolissaan myös kustannuksista joita maataloille ehkä koituu kasvihuonekaasujen päästöjen vähentämisestä. Ilmastomuutoksen vaatimien toimenpiteiden tulisi olla tilatasolla mahdollisia toteuttaa niin taloudellisesti kuin viljelyteknisestikin, oli kyse sitten maatalouden vesiensuojelun tehostamisesta tai ilmastomuutoksen hillintään osallistumisesta. Ilmastomuutokseen sopeutuminen maatilatasolla edellyttääkin sopeutumista edistäviä pitkäjänteisiä poliittisia päätöksiä ja taloudellisia kannustimia. Maatalouspolitiikan on tuettava viljelijöitä niin että hyviin käytäntöihin investoiminen on kannattavaa.

Sopeutumiskeinoina jalostus ja tuotannon monipuolistaminen

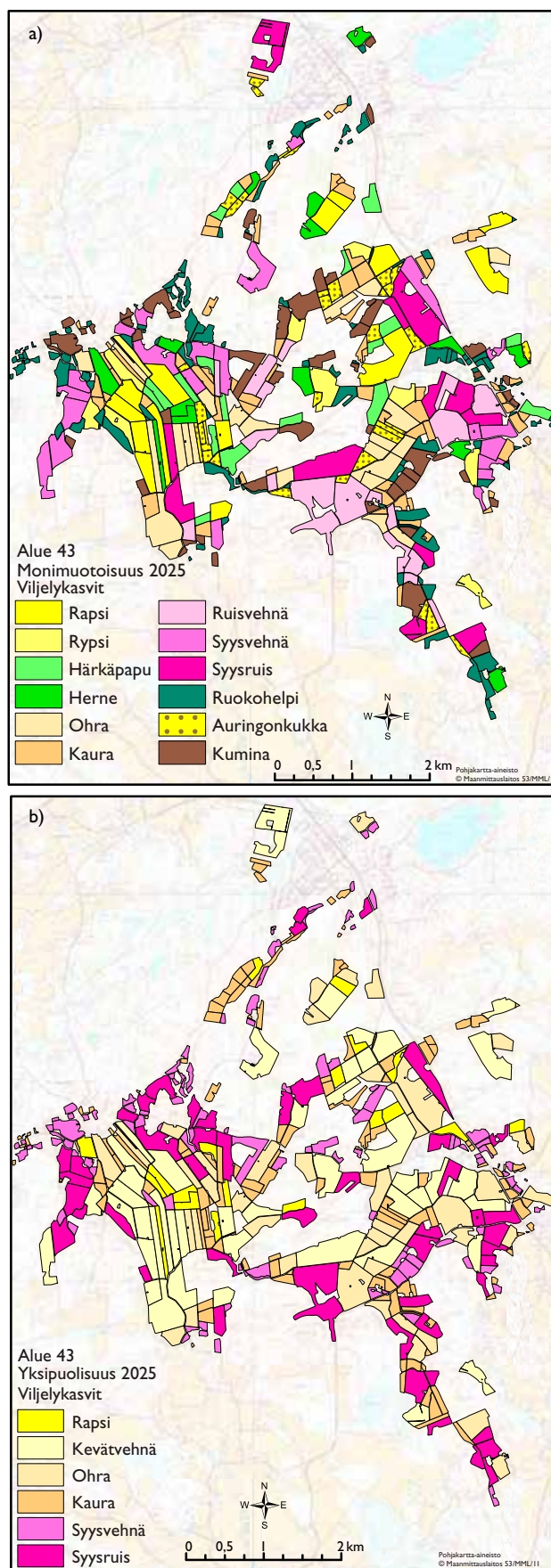
Ilmaston lämpenemisen myötä Suomessa on mahdollista alkaa viljellä pidemmän kasvukauden satoisampia lajikkeita. Valojakso ei kuitenkaan muutu, joten etelämpää tuodut lajikkeet eivät täällä menesty. Siksi on jalostettava pitkän päivän olosuhteisiin sopeutuneita lajikkeita, jotka pystyvät hyödyntämään aikaisempaa pidemmän kasvukauden ja korkeamman lämpötilan. Viljelykasveja on tarpeen jalostaa myös käyttämään ravinteita ja vettä tehokkaammin, kestäämään paremmin kasvitauteja sekä talvehtimaan paremmalla menestyksellä. Jalostuksen keinoin voidaan lisäksi nopeuttaa syyskylvöisten lajikkeiden käyttöönottoa. Niillä on suurempi satopotentiaali sekä mahdollisuus päästä hyvään kasvuun ennen alkukesän

kuivuutta ja hyödyntää aiemmin alkava kasvukausi. Ne myös pitävät pellot talvisin kasvipeitteisinä.

Maatalouden vesiensuojelua on tehostettava pyrkimällä suljettuihin ravinnekiertoihin sekä kohdentamalla tehostettuja toimenpiteitä riskialttiimmille peltolohkoille. Viljelijöiden paikallistuntemukseen tukeutuen on kehitettävä alueellisesti sovitettuja vesiensuojelumenetelmiä. Lisäksi eroosioherkillä alueilla eroosion ja ravinteiden huuhtoutumisen ehkäisemiseksi on tavoiteltava peltojen mahdollisimman suurta talviaikaista kasvipeitteisyyttä. Ojituksen kunnosta huolehtiminen on tärkeää, jotta ojaverkosto pystyy ottamaan vastaan poikkeuksellisen suuria sademääriä ja jotta ravinteet eivät päädy suoraan vesistöihin kovallakaan sateella.

Ilmastonmuutoksen, sään vaihteluiden ja markkinoiden muutoksien aiheuttamaan epävarmuuteen voidaan varautua monipuolistamalla tuotantoa. Monipuolisemmat viljelykierrat vähentäisivät yksipuolisen viljelyn aiheuttamia riskejä ja haittoja esimerkiksi maan kasvukunnon ja kasvitautien suhteen. Kasvukauden pidentyminen mahdollistaa entistä monimuotoisemman viljelykasvilajiston käytön. Esimerkiksi rapsin, härkäpavun ja herneen tuotanto voi muuttua laajamittaiseksi. Näiden tuotantokasvien viljely parantaisi valkuaisrehutuotannon omavaraisuutta, joka jää parhaimpinkin vuosina noin 20 prosenttiin. Lisäksi palkokasvit korvaavat keinotyyppilannoitusta sitomalla typpeä ilmasta.

Suomalaisessa kasvintuotannossa on jo lähivuosikymmeninä huomattavan erilaisia mahdollisuuksia mm. maatalouspolitiikan suunnasta riippuen. VACCIA-hankkeessa on tuotettu peltoviljelyn neljä erilaista tulevaisuuskuvaa kahdelle Lepsämänjoen valuma-alueen pohjoiselle osa-alueelle kahdelle eri ajankohdalle, vuosille 2025 ja 2055. Viljelykasvilajien ja -lajikkeiden määräsuhteet on määritelty eri tulevaisuuskuvissa siten, että on otettu huomioon ilmastonmuutoksen (IPCC:n skenaarion SRES A2 mukaan) tuomat mahdollisuudet uusien lajien ja syyskylvöisten lajikkeiden käyttöönottoon sekä nykyisten lajien laajempaan viljelyyn. Hankkeessa tuotetut viljelyskenaarit ovat 1) valkuaisomavaraisuuden merkittävä lisääminen, 2) talviaikaisen kasvipeitteisyyden merkittävä lisääminen, 3) monimuotoisuuden merkittävä lisääminen ja 4) yksipuolistuva tuotanto. Kuvassa 13 on viljelyskenaarioiden 3 ja 4 mukaiset viljelykasviyhdistelmät Lepsämänjoen valuma-alueen yhdellä pohjoisella osa-alueella vuonna 2025. Vuonna 2009 alueen peltoalasta 49 % oli ohralla ja 15 % kevätevehnällä. Jonkin verran viljeltiin myös syysvehnää, ruista, rypsiä ja rapsia. Noin neljännes alasta oli muita kasveja.



Kuva 13. Monimuotoistuvan (a) ja yksipuolistuvan (b) kasvintuotannon viljelykasviyhdistelmät Lepsämänjoen valuma-alueen yhdellä pohjoisella osa-alueella vuonna 2025.

Keskeiset tutkimus- ja selvitystarpeet

- Paikallisiin olosuhteisiin sopeutettujen vesiensuojelumenetelmien kehittäminen yhteistyössä viljelijöiden kanssa ja uusien menetelmien tehokkuuden seurantatutkimus.
- Kasvinsuojeluriskien (kasvitaudit, tuholaiset, rikkakasvit) hallintamenetelmien kehittäminen.
- Pellon vesitalouden hallintajärjestelmien kehittäminen (mukaan lukien kastelujärjestelmät) ja maatalouden ravinnekiertojen sulkeminen.
- Järjestelmätutkimus ilmastomuutoksen lisäksi vaikuttavien merkittävien sosioekonomisten muutostekijöiden yhteisvaikutusten selvittämiseksi.
- Erilaisten aluetason viljelyjärjestelmävaihtoehtojen vesistökuormitus ja vaikutukset viljelyn kannattavuuteen ilmastomuutosolosuhteissa.

Metsätalous

Eero Nikinmaa, Markku Orell, Pasi Kolari, Lauri Arvola, Samuli Sairanen, Annikki Mäkelä, Lauri Valsta, Pertti Hari, Satu Lampila, Katja Kangas, Emma Vatka, Seppo Rytönen, Ari Nikula, Vesa Nivala

Tapahtuneet ja odotettavissa olevat muutokset metsätaloudessa

Ilmakehän hiilidioksidipitoisuus on kohonnut kolmanneksella esiteollisesta ajasta ja samalla keskilämpötila on noussut vain vähän. Lisäksi Etelä-Suomeen on kohdistunut viime vuosikymmeninä joidenkin kilojen suuruinen typpilaskeuma hehtaaria kohti. Samanaikaisesti metsien rakenne on muuttunut metsänhoidon seurauksena 50-luvulta lähtien voimakkaasti. Havaitusta metsävarojen lisääntymisestä ja metsän kasvun kiihtymisestä on vaikeaa erotella ilmastomuutoksen vaikutuksia muista muutostekijöistä (Kuva 14).

Hiilidioksidipitoisuuden kohoamisen kiihdyttää tutkimusten mukaan yhteytystuotosta ja parantaa varsinkin veden käytön tehokkuutta. Metsien kasvun kokeellisissa ja mallinnustutkimuksissa tuotos onkin noussut, varsinkin, jos typen saatavuus on samanaikaisesti lisääntynyt. Männyn tuotos kohonnee noin neljänneksellä ja koivun yhteytystuotos kiihtyy vielä enemmän johtuen sen elintoimintojen korkeammasta lämpötilaoptimista. Runkopuuston kasvun lisääntyminen saattaa olla tätäkin suurempaa.

Puuston kasvu kiihtyy

Puiden lustosarjoja tutkittaessa ei ole löydetty viitteitä metsän kasvun kiihtymisestä, mutta on havaittu, että puiden vuosilustojen leveyden kytkeytyneisyys lämpötilan vaihteluun on heikentynyt viime vuosikymmeninä. Sen sijaan esimerkiksi lehtiin puhkeamisen aikasarjassa kevään aikaistuminen näkyy jo. Lisäksi on huomattu, että mitä aikaisempi kevät, sen suurempi vuotuinen tuotos. Koko kesän lämpösumman suhteen vastaavanlaista riippuvuutta ei ole löydetty.

Suomessa metsien kasvua rajoittavat lähinnä lämpötila ja typen saatavuus, ei niinkään kuivuus. Kohonnut lämpötila nopeuttaa maaperän orgaanisen aineen hajoamista ja vapauttaa siihen sitoutuneen typen kasvien käyttöön. Tämä puolestaan kiihdyttää puiden kasvua ja runkopuun tuotoksen nousua. Hallitustenvälisen ilmastopa-

neelin (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) hiilidioksidipitoisuuden kasvuskenaarioista lievin, B1, yhdistettynä kahden asteen lämmön nousuun kiihdyttäisi männikön kasvua Etelä-Suomessa 16 % ja Lapissa 31 %. Vastaavasti korkeimman hiilidioksidipitoisuuden skenaariolla A2 ja 5 °C lämpötilan nousulla kasvu lisääntyisi Etelä-Suomessa 40 % ja Lapissa 80 % (Kuva 15). Pohjois-Suomen lämpötila saavuttaa tässä skenaariossa nykyisen Etelä-Suomen tason vuosisadan vaihteessa, mutta metsien kasvu jää Etelä-Suomea alhaisemmaksi, koska maaperään kertyneen orgaanisen aineen ja sitä myötä typen varannot ovat Etelä-Suomen nykyistä tasoa alhaisemmat.

Jos typen vapautuminen kiihtyy ennustetusti, koi-vun kasvureaktio viljavuuden muutokseen on mäntyä voimakkaampi.

4.2.3

Ääri-ilmiöt hillitsevät metsävarojen kehitystä

Sadannan ennustetaan lievästi lisääntyvän. Samalla pisimpien sateettomien jaksojen kesto kasvaa. Lämpötilan nousu lisää haihduttavuutta, mutta haihduntamäärät eivät välttämättä nouse, sillä kohoava hiilidioksidipitoisuus tehostaa puiden vedenkäyttöä. Tulevaisuudessakaan kuivuus ei todennäköisesti rajoita metsän kasvua Suomessa. Jatkossa kuitenkin ääri-ilmiöiden toistuvuus kasvaa ja vuoden 2006 kaltaisista kuivuusvuosista tulee entistä yleisempiä. Tällä voi olla vaikutusta varsinkin kuusen menestymiseen erityisesti karkeammilla mailla Etelä-Suomessa. Kehitys saattaa johtaa kuusen taantumiseen tällaisilla kasvupaikoilla.

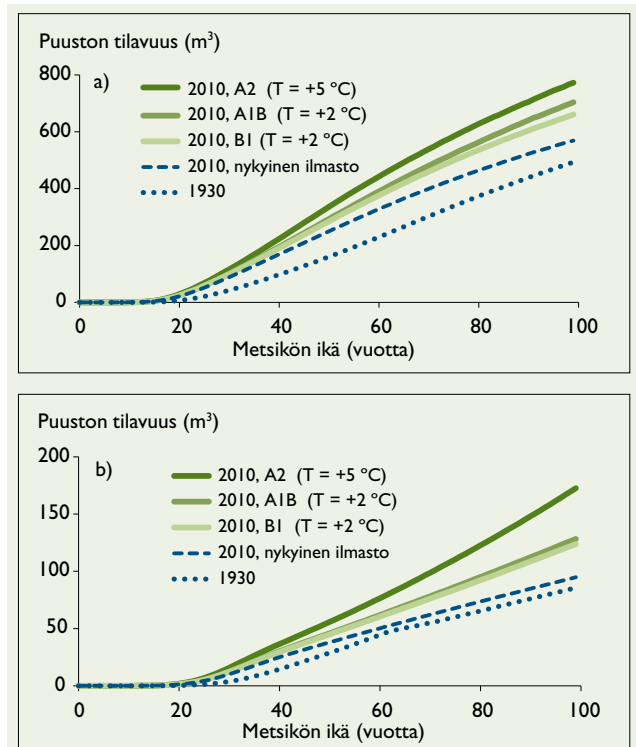
Myrskyvoimakkuudella puhaltavien tuulien yleisyyden ei ennusteta kasvavan, mutta roudattoman ajan pituus kasvaa varsinkin syys- ja talvimyrskyjen kaudella. Se voi lisätä tuulenkaatoja ja sillä voi olla vaikutusta varsinkin kuusen yleisyyteen sekä kasvatuksen kannattavuuteen. Lämpenevä ilmasto lisää hyönteis- ja sienituhojen määrää, mikä tulee laskemaan arvioita kasvun lisääntymisestä. Metsäpalojen määrän on arvioitu jopa vähenevän Etelä-Suomessa, mutta Lapissa ne voivat lievästi kasvaa.^{37,38}

37 Mäkelä, A., Linkosalo, T., Härkönen, S., Kolari, P., Pulkkinen, M., Duursma, R. & Grönlund, L. 2010. Metsikön kasvatus muuttuvassa ilmastossa – yleisen mallisysteemin kehittäminen ja soveltaminen mäntymetsiin. <http://www.mmm.fi/attachments/ymparisto/5oT89Za2S/Makela.pdf>, 15.11.2015.

38 Kellomäki, S., Strandman, H., Nuutinen, T., Peltola, H., Korhonen, K.T., & Väisänen, H. 2005. Adaptation of forest ecosystems, forests and forestry to climate change. FINADAPT Working Paper 4, Finnish Environment Institute Mimeographs 334, Helsinki, 50 s.



Kuva 14. Mäntymetsää Hailuodossa. Kuva: Ilkka Heikkinen/SYKEkuva.



Kuva 15. Mäntymetsikön puuston tilavuuden ennustettu kehitys Etelä-Suomessa (a) ja Itä-Lapissa (b). Metsikön kasvua simuloitiin vuodesta 1930 todellisessa ilmastossa ja typpi-laskeumassa ja vuodesta 2010 erilaisilla ilmahan hiilidioksidipitoisuuden ja lämpötilan muutosskenaarioilla (kuvassa IPCC-skenaariot A2, A1B ja B1). Vuotuisen typpilaskeuman oletettiin pysyvän tulevaisuudessa nykyisellä tasolla, 0,5 g N m⁻² Etelä-Suomessa ja 0,2 g N m⁻² Lapissa.



Kuva 16. Hömötiainen (*Poecile montanus*).
Kuva: Antti Below.

4.2.4

Paikkalinnut muutosten kuvaajina

Ihmisen aiheuttama elinympäristöjen häviäminen ja pirstoutuminen sekä ilmastonmuutos ovat suurimmat maapallon eliölajeihin haitallisesti vaikuttavat tekijät. Ilmastonmuutos on jo vaikuttanut monien lajien, myös lintujen, fysiologiaan, fenologiaan (biologisten ilmiöiden rytmiiän ja siihen vaikuttavien tekijöiden tutkimus), lisääntymismenestykseen ja elossa säilyvyyteen. Viimeisten 20 vuoden aikana Euroopan yleisten metsälintujen populaatiot ovat taantuneet keskimäärin 9 %, voimakaimmin Pohjois- ja Etelä-Euroopassa. Erityisesti Pohjois-Euroopassa taantumien syynä pidetään intensiivistä metsätaloutta. Eliölajien säilymisen kannalta on oleellista niiden vaatimien elinympäristöjen säilyminen ja toisaalta lajien kyky muuttaa levinneisyysalueitaan ilmastonmuutoksen myötä. Paikkalinnut ovat hyviä mallilajeja tutkittaessa ilmaston ja elinympäristön muutosten vaikutuksia, sillä saman paikan ilmasto- ja maisematekijät vaikuttavat niihin vuoden ympäri.

Suomessa metsien puulajikoostumus ja ikärakenne ovat merkittävästi muuttuneet vaikka metsän määrä on pysynyt ennallaan. Lisäksi metsätalouden käytännöt ovat johtaneet kuolleen puun määrän vähenemiseen, jolloin monet lahoppuista riippuvaiset lajit ovat taantuneet talousmetsissä. Metsätalous on vähentänyt esimerkiksi VACCIA-hankkeessa mallilajina käytetyille hömötiaiselle (*Poecile montanus*) (Kuva 16) sopivien pesimä- ja talvehtimisalueiden määrää ja yleisesti laskenut metsäalueiden kantokykyä (kantokyvyllä kuvataan tietyn lajin suurinta mahdollista määrää tietyssä elinympäristössä, jonka ympäristö kykenee ylläpitämään).

Hömötiaiselle pesäpaikan valinnan tärkein tekijä näyttäisi olevan pesimiseen sopivan pystyssä seisovan lahoppuun määrä. Hömötiaiset ovat erittäin paikkauskollisia: pari voi jatkaa pesimistä samalla reviirillä, vaikka hakkuu tai harvennus olisi huonontanut reviirin laatua merkittävästi, mikäli alueelle jää yksikin pesimiseen kelpaava pötkelö. Myös muut varpuslinnut hyötyvät hömötiaisesta, sillä ne käyttävät hömötiaisen vanhoja koloja pesäpaikkoinaan. Kolopesijöillä pesäpaikkojen puute voi rajoittaa populaatiokokoa. Pesäpaikoista käytävän kilpailun vuoksi osa yksilöistä voi joutua asettumaan huonompiin elinympäristöihin, missä poikastuotto voi olla heikkoa.

Keväiden lämpenemisen myötä hömötiaisen pesintä Pohjois-Suomessa on merkitsevästi aikaistunut viimeisen 35 vuoden aikana. Lämpeneminen mahdollistaa entistä aikaisemmin myös tiaisten poikastensa ruokkimiseen käyttämien koivuissa elävien toukkien saannin. Hömötiaisen pesintä osuu lämpiminä keväinä paremmin yhteen ravinnon saatavuuden kanssa, jolloin poikasten

ruokinta on helpompaa ja lisääntymismenestys hieman paranee. Ilmaston lämpenemisen myötä lämpimiä keväitä tulee olemaan entistä useammin, jolloin pesinnän ajoituksen odotetaan keskimäärin paranevan. Ilmaston lämpenemisen mahdollisesti tuomat hyödyt eivät todennäköisesti kuitenkaan pysty korvaamaan sopivan elinympäristön vähenemisen ja laadun heikkenemisen aiheuttamia haittoja.

4.2.5

Nykyiset metsänhoitomenetelmät lisäävät metsien tarjoamien ekosysteemipalvelujen haavoittuvuutta tulevaisuudessa

Ilmaston muuttuminen tulee vaikuttamaan sekä metsien uudistamiseen ja kasvatamiseen että kiertoaikojen pituuteen. Kokonaisuutena vaikutus on kasvatuksen kannattavuuden kannalta positiivinen, mutta metsänhoidon harjoittamiseen tulee suuria muutoksia.

Lisääntynyt hiilidioksidipitoisuus, nouseva lämpötila ja maaperän viljavuuden paraneminen tulee kiihdyttämään pintakasvillisuuden kehitystä avohakkuun jälkeen. Heinien ja ruohojen lisääntyvä määrä lyhentää metsien uudistamisikkunaa (uudistamiseen parhaiten soveltuvaa ajanjaksoa) avohakkuun jälkeen. Kylvöön ja luontaiseen uudistamiseen perustuvat menetelmät tulevat varsinkin eteläisessä Suomessa vähämerkityksisiksi ja uudistamisen yhteydessä joudutaan käyttämään istutusta ja voimaperäisempää maanpinnan muokkausta. Lisäksi taimikon hoitoon alkukehityksen aikana joudutaan kiinnittämään enemmän huomiota. Nykyisillä metsänhoidon menetelmillä uudistuskustannukset kasvavat selkeästi.

Puuston kehittyminen taimivaiheen jälkeen kiihtyy nykyisestä ja taimikon hoidon ja ensiharvennuksen oikea-aikainen toteuttaminen tulee nykyistä tärkeämmäksi. Erityisesti männyn kasvatuksessa kasvatettavan puuaineen laatu tulee huomioida paremmin. Toisaalta päätehakkuukelpoinen puusto saavutetaan huomattavasti nykyistä aikaisemmin. Nopeampi kasvu hyvittää uudistamisen kohoavia kustannuksia, mutta metsänkasvatuksen kannattavuus nykyisillä menetelmillä ei kasva niin paljon kuin metsien kasvu.

Myrsky-, hyönteis- ja sienituhojen huomioon ottaminen metsien kasvatuksessa tulee nykyistä tärkeämmäksi. Samanaikaisesti puuston korjuuolosuhteet muuttuvat roudattomien talvien myötä haastavammiksi varsinkin kosteilla kasvupaikoilla. Vaikka kuivuus ei keskimäärin lisäännäkään, on metsien käsittelyssä huomioitava myös voimakkaiden kuivuusvuosien todennäköisyyden kasvu. Parantuvat kasvuolosuhteet vaikuttavat entistä tiheämpien kasvustojen kehittymiseen, jotka saattavat olla herkkiä äärimmäisen kuivuusvuoden sattuessa.

Muiden ekosysteemipalvelujen, kuten hiilen sidonnan, luonnon monimuotoisuuden ylläpidon ja vesivarojen hallinnan merkitys kasvaa ilmastonmuutoksen myötä lisääntyvän virkistyskäytön kehityssuunnan ohella. Myös uusiutuvien polttoaineiden lisääntyvä käyttö vaikuttaa metsien hoitoon. Energiapuun korjuu huonosti toteutettuna voi johtaa kasvupaikan viljavuuden alenemiseen, mutta toisaalta yhdessä paranevien kasvuolosuhteiden kanssa se luo edellytyksiä myös uudentyypisen, nopeasti kasvaville lehtipuille perustuvan vesametsätalouden harjoittamiselle. Samalla kun metsätalouden kannattavuus voi parantua, ristiriidat maankäyttömuotojen välillä tulevat lisääntymään varsinkin Lapissa, jossa suojelualueiden osuus maapinta-alasta on korkea.

4.2.6

Metsänhoitomenetelmät muutosten edessä

Metsänhoidon keskeisimmät sopeutumishaasteet liittyvät puulajivalintaan, metsien uudistamiseen, kasvatustiheyskseen, kasvatushakkuiden ajoitukseen ja luonnollisten

häiriöiden kuten kuivuuden, sienitautien ja hyönteisten sekä myrskytuhojen vaikutusten huomioonmäärä. Lisäksi metsien korjuuolosuhteiden muutokset aiheuttavat roudan vähenemisen myötä ongelmia erityisesti kosteilla kasvupaikoilla ja suomet-sissä.

Ilmastonmuutoksen aiheuttama lämpötilan nousu ja luonnollisten häiriöiden toistumistiheyden kasvu edistävät lehtipuiden tuotosta havupuihin nähdessä. Sään voimakas vuotuinen vaihtelu rajoittaa vielä eteläisempien alkuperien lehtipuiden hyödyntämismahdollisuuksia. Tällä hetkellä kuitenkin vähän hyödynnettyjen lehtipuiden, kuten tammen, laajempaa käyttöä Etelä-Suomessa voisi jo harkita.

Pintakasvillisuuden rehevöityminen ja metsien nopeampi kehitys lyhentää uudistusikkunaa hakkuiden jälkeen, lisää maanpinnan muokkaustarvetta ja vaatii hoitotoimenpiteiden oikeaa ajoitusta. Optimaalisen puuntuotannon ohella kasvatustiheyksiä ja korjuuajankohtia suunniteltaessa täytyy ottaa huomioon luontaisten häiriöiden välttäminen. Edellä mainitut tekijät vaikuttavat koko metsänhoidon menetelmän valintaan.

Talviaikaisten sateiden ja rankkasateiden lisääntyminen sekä toisaalta orgaanisen aineen nopeampi hajoaminen voi lisätä valuntaa metsäalueilta ja eroosio- ja ravinnehuuhtoumariskiä heti uudistamisen jälkeen, varsinkin jos uudistamistoimenpiteet edellyttävät nykyistä voimakkaampaa maan muokkausta. Toisaalta kasvillisuuden nopeampi kehitys myös sitoo enemmän ravinteita. Keskimäärin kesäaikainen valunta tulee pienenemään, mutta kasvukauden ulkopuolella lisääntyvä sadanta saattaa aiheuttaa lisääntyvää ravinteiden huuhtoutumista, jollei metsän kasvatuksen menetelmissä huomioida tätä.

Uusiutuvan metsäenergian hyödyntäminen, metsien hiilen sidonta, muut ilmastovaikutukset ja ekosysteemipalvelujen turvaaminen aiheuttavat ristiriitaisia vaatimuksia metsien käytölle. Bioenergian käytön myönteistä ilmastovaikutusta pitää verrata metsien hiilivaraston suuruuden muutoksiin. Metsäenergian korjuussa menetetään merkittävä määrä ravinteita, mikä heijastuu metsien kasvuun ja hiilensidontaan. Lisäksi bioenergian hyödyntämisen ja elinympäristöjen sekä lahopuiden säilyttämisen välillä on ristiriitoja. Lahopuun saatavuuden takaimiseksi talousmetsiin on tarpeen jättää vanhoja ja pystyyn kuolleita puita. Metsämaiseman rakenne tulisi pitää lintujen ja muiden lajien elinympäristövaatimusten kannalta riittävän hyvänä, jotta populaatiot pysyisivät elinvoimaisina. Metsämosaiikin suunnittelussa lajistolle tulisi tarjota myös siirtymismahdollisuus muuttuvan ilmaston mukaan.

4.2.7

Toimenpiteiden ajoitus on avainasemassa sopeutumisessa

Ilmastonmuutokseen ja siihen liittyviin arvioihin sisältyy paljon epävarmuutta. Metsätalouden harjoittamisen kannalta tämä on ongelmallista, koska nykyisin perustettavat metsät saavuttavat uudistuskypsyysikänsä mahdollisesti hyvin erilaisissa ympäristöissä. Jotta metsätalous sopeutuisi muuttuviin oloihin, voitaisiin harkita nykyistä suurempaa vaihtelua sekä puulajikoostumuksessa että kasvatuksen tavoitteissa. Tällä hetkellä mäntyvaltaisilla kuivahkoilla tai sitä karuimmilla kasvupaikoilla tulevaisuudessa myös muut puulajit tulevat varteenotettavammiksi vaihtoehtoisiksi, vaikkakin mänty on myös jatkossa parhaiten näille sopiva puulaji. Viljavimmilla kasvupaikoilla voi kuusen ohella käyttää lehtipuita. Sekametsän, kuten kuusi-koivu-sekametsän, kasvatusta on jo nyt kilpailukykyinen vaihtoehto. Etelä-Suomessa sekapuustona voisi kokeilla arvokkaita puulajeja kuten tammea. Kasvuolosuhteiden parantaminen luo myös periaatteessa paremmat edellytykset peitteisen metsätalouden (jatkuvan kasvatuksen menetelmä) harjoittamiselle. Toisaalta tuulenkaatojen lisääntyminen voi estää puiden kasvun riittävän suuriksi.

Nykyisiä metsänhoidon menetelmiä käytettäessä pitää kiinnittää aikaisempaa enemmän huomiota taimikon hoidon ja kasvatushakkuuden ajoitukseen. Kasvillisuuden kehityksen nopeutumisesta ja kilpailun lisääntymisestä johtuen kasvatettavaksi tarkoitettu puusto kärsii kilpailusta enemmän ja saattaa jäädä ratkaisevasti jälkeen aiempaa nopeammin. Toisaalta rehevöityminen edellyttää aiempaa tiheämpää kasvatusasentoa varsinkin männiköissä, jotta vältettäisiin puun laadun huononeminen.

Metsätalouden vesiensuojelutoimenpiteiden suunnittelussa ja toteutuksessa valuma-aluekokonaisuudet on huomioitava nykyistä paremmin. Alueellista suunnittelua on kehitettävä. Lisäksi metsänomistajien ja metsätalouden muiden toimijoiden koulutusta on lisättävä.

4.2.8

Keskeiset tutkimus- ja selvitystarpeet

- Metsien kasvun vuosien välisen vaihtelun tutkiminen, ml. sen kytkeytyminen säähän ja ääri-ilmiöiden välittömien ja viiveellisten kasvuun ja kuolleisuuteen kohdistuvien vaikutusten tutkiminen.
- Eri puulajien ominaisuuksien ja muutokseen reagoinnin tutkiminen.
- Metsien pintakasvillisuuden ominaisuuksien ja muutokseen reagoinnin tutkiminen.
- Typen käyttäytymisen dynamiikan tutkiminen ml. takaisinkytkennät puuston kasvuun. Tämä on tärkeä tutkimusaihe etenkin energiapuun korjuun yleistyessä.
- Bioottisten häiriöiden muutosten tutkiminen.
- Lajien säilymisen kannalta tärkeiden elinympäristöjen ominaisuuksien tunnistaminen ja elinympäristöjen tuhoutumisen ja ilmastonmuutosten seurauksien tutkiminen (esim. pohjoisten havumetsien lintujen vaste muutoksiin).
- Elinympäristöjen kynnysarvojen selvittäminen.
- Eri lajien ja eri alueilla elävien saman lajin populaatioiden ilmastonmuutosvastteiden tutkiminen.
- Populaatioiden dynamiikan ja elinkyvyn tutkiminen ilmastonmuutos huomioiden.
- Ilmastonmuutoksen aiheuttamien fenologisten muutosten tutkiminen usealla ravintoketjun tasolla (kasvit, hyönteiset, linnut) pohjoisen havumetsävyöhykkeen elinympäristöissä.

4.3

Kalatalous

Juha Karjalainen, Tapio Keskinen, Merja Pulkkanen

4.3.1

Ilmastonmuutoksen vaikutus kalakantoihin ja muutokset Päijänteen kalataloudessa

Ilmastonmuutosskenaarioiden pohjalta tehtyjen mallinnusten perusteella järviveden lämpötiloissa on odotettavissa suuria muutoksia kuluvaan vuosisadan loppupuoliskolla. Päijänteen Ristinselällä kesäaikainen lämpötilakerrostuneisuus kestää nykyistä pitempään ja harppauskerros painuu syvemmälle (Kuva 17). Päälysveden lämpötila nousee nykyisestä 2–3 °C ja osalla kalalajeista kasvukausi voi pidentyä jopa kuukaudella. Vastaavasti talviaikaista jääpeitettä ei muodostu joka vuosi tai jääpeite saattaa muodostua ja sulaa useita kertoja saman talven aikana. Lämpötilan ja jääpeitteen muutokset vaikuttavat kalojen käyttäytymiseen ja kalastukseen. Myös vesistöjen rehevöitymisellä ja vedenlaadun muutoksilla (ks. 3.2) on vaikutusta kalayhteisöön ja sitä kautta koko kalatalouteen.

Päijänteellä taloudellisesti tärkeimmät kalalajit ovat muikku ja siika, joiden saaliit esim. vuonna 1996 olivat 150 ja 114 tonnia. VACCIA-hankeessa muuttuvan ilmaston vaikutusta muikun ja siian lisääntymiseen selvitettiin laboratoriokokeilla ja mallintamalla. Mätiä haudottiin koeolosuhteissa ja lämpötila säädettiin vastaamaan mallinnettuja keskimääräisiä tulevaisuuden lämpötiloja. Kevään aikaistuminen ei vaikuttanut mädin selviämiseen, vaan poikasia kuoriutui saman verran kuin järvien nykyisiin lämpötiloihin perustuvassa käsittelyssä. Mallinnettujen lämpötilojen perusteella muikun keskimääräinen kutuaika siirtynee vuosisadan lopulla noin kolme viikkoa myöhemmäksi verrattuna vuosiin 1971–2000. Lämpimämpi syksy ja aikaisempi kevät vaikuttavat kuitenkin niin, että kuoriutuminen tapahtuu pari viikkoa nykyistä aiemmin. Veden lämpötila poikasten kuoriutumishetkellä on mallilaskelmien mukaan kuitenkin tulevaisuudessa keskimäärin 2–3°C korkeampi kuin nykyisellään. Tällä on sekä myönteisiä että kielteisiä vaikutuksia muikunpoikasten selviytymiseen. Lämpimässä vedessä poikasten ravintonaan käyttämän eläinplanktonin määrä saattaa olla suurempi ja poikasten kasvunopeus korkeampi, mutta samalla petojen, erityisesti ahvenen, aktiivisuus ja ravinnonkulutus ovat nykyistä suurempia.

Kesällä aikuiset muikut nousevat hämärissä ruokailemaan päällysveteen ja oleskelevat muun ajan alempana viileässä vedessä. Pintaveden lämpötilan noustessa liian korkeaksi ja harppauskerroksen painuessa nykyistä syvemmälle tämä ns. vertikaalivaellus saattaa häiriintyä. Tällä puolestaan voi olla vaikutusta muikun ravinnonhankintaan, kasvuun ja lisääntymiskykyyn. Samalla myös muikun kesäaikainen oleskelualue saattaa pienentyä. Viileän alusveden väheneminen voi matalammilla syvännealueilla lisäksi heikentää kuorekantoja, varsinkin jos syvänteiden happipitoisuudet samalla heikkenevät rehevöitymisestä johtuen. Viileää vettä vaativa kuore on useiden petokalalajien tärkeää ravintoa pohjoisen havumetsävyöhykkeen järvissä.

4.3.2

Ilmastomuutos muuttaa saalislajisuhteita

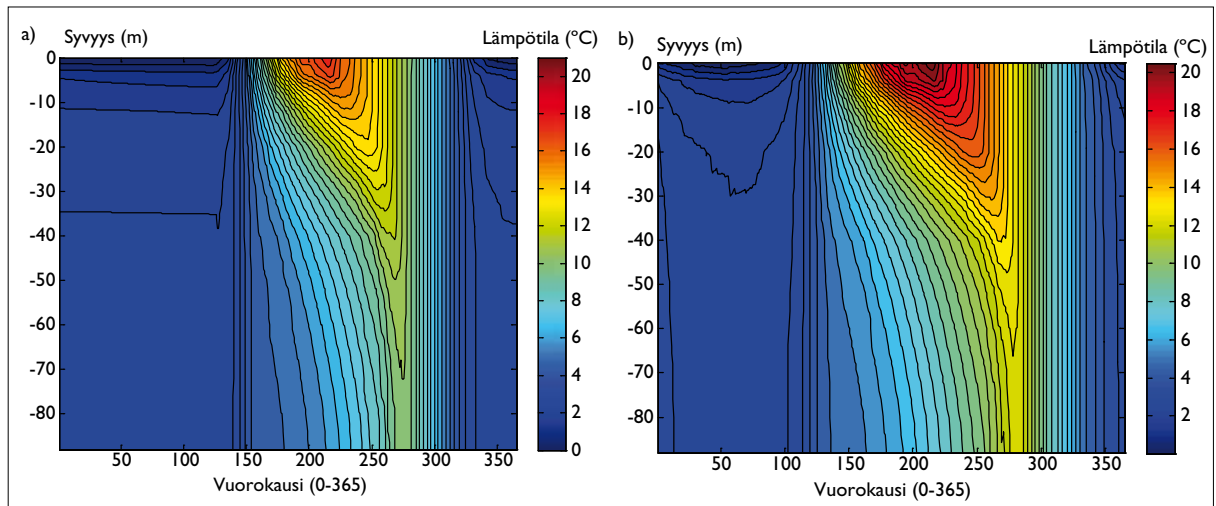
Vapaa-ajankalastuksen tärkeimpiä saalislajeja ovat ahven, hauki, kuha ja taimen. Näistä lajeista taimen saattaa kärsiä tulevaisuudessa korkeista kesälämpötiloista. Taimen lisääntyy ja elää poikasvaiheessa puroissa ja joissa. Ennustetut veden lämpötilat saattavat olla niin korkeita, että lämpiminä vuosina veden lämpötila ylittää taimenen poikasten sietorajat, jolloin kasvu heikkenee ja kuolleisuus lisääntyy. Erityisen kuumen kesän 2010 jälkeen havaitut taimenen poikastiheydet Keski-Suomen virtavesissä olivat alhaisia, mikä johtui osittain lämpötilan vaikutuksesta. Myös purojen kuivuminen kesällä ja toisaalta lisääntynyt kiintoaineksen huuhtoutuminen kutosoraikkoihin ovat haitallisia taimenen lisääntymiselle.

Kuha ja ahven sen sijaan ovat lämpimän veden lajeja, jotka hyötyvät lämpötilan noususta. Kuha kasvaa nykyisin Pohjois-Päijänteellä kuudessa vuodessa keskimäärin noin kilon painoiseksi, mutta vuosisadan loppupuolen ennustetuilla keskimääräisillä lämpötiloilla kuha saavuttaa 1,8 kg:n painon (Kuva 18). Samalla myös ravinnonkulutus lähes kaksinkertaistuu (Kuva 19), mikä vaikuttaa ravintokalojen populaatioihin. Lisäksi kasvukauden pidentymisestä johtuva kasvun paraneminen ensimmäisenä elinvuonna voi parantaa kuhien selviytymistä ensimmäisestä talvesta.

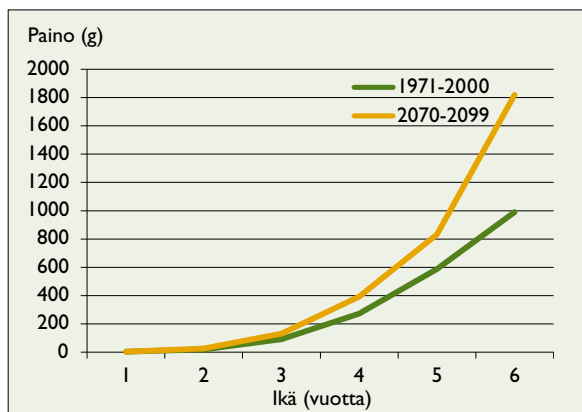
4.3.3

Kalayhteisön muutokset muuttavat ammattikalastusta

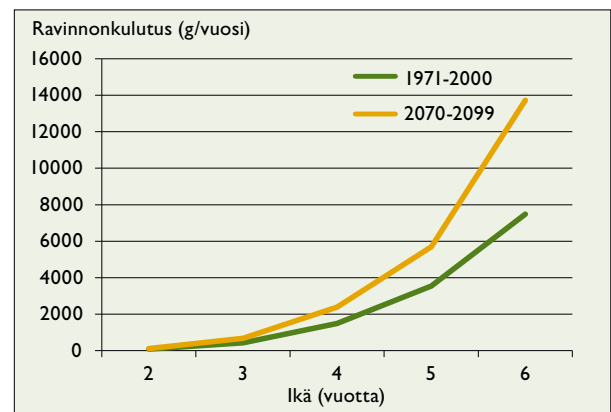
Yleisesti ottaen kalayhteisöt muuttuvat tulevaisuudessa ahven- ja särkikalavaltaisempaan suuntaan lohikalojen taantuessa. Tämä tarkoittaa muikkuun ja siikaan perustuvassa ammattikalastuksessa hyödynnettävän resurssin taloudellisen arvon



Kuva 17. Veden vuotuinen keskimääräinen lämpötilaprofiili Päijänteen Ristinselällä vuosina 1971–2000 (a) ja 2070–2099 (b). Mallinnus perustuu MyLake-malliin ja IPCC:n päästöskenaarioon A1B.



Kuva 18. Kuhan havaittu (ajanjakso 1971–2000) sekä lämpötilasimulaatioiden ja bioenergeettisen mallin avulla ennustettu (ajanjakso 2070–2099) keskimääräinen ikäryhmäkohtainen massa Päijänteen Ristinselällä.



Kuva 19. Bioenergeettisellä mallilla arvioitu kuhan vuosittainen ravinnonkulutus ajanjaksoilla 1971–2000 ja 2070–2099. Arvot perustuvat kuvassa 18 esitettyihin kasvunopeuksiin.

vähennemistä. Myytäväksi kelpaamaton sivusaalis aiheuttaa lisäkuluja ja vähentää kalastuksen kannattavuutta.

Mikäli harppauskerros painuu lämpiminä kesinä syvälle, muikku ja siika oleskelevat syvemmillä ja ovat siten vaikeammin troolattavissa. Lämmin sää lisää myös jäähdytyskustannuksia. Jääpeitteisen ajan lyheneminen syksyllä puolestaan jatkaa troolauskautta ja lisää tämän elinkeinon kannattavuutta. Perinteisen talvinuottauksen harjoittaminen sen sijaan vaikeutuu. Lauhojen talvien aiheuttamia haittoja ja vaikutuksia kalakantoihin on jo havaittavissa esimerkiksi Säkylän Pyhäjärvellä.

4.3.4

Sopeutuva kalatalous

Ammattikalastuksen on sopeuduttava sekä kalakantojen muutoksiin että olosuhteiden muutoksiin. Elinkeinona kalatalous on kuitenkin jo tähän mennessä sopeutunut suuriin vuosien välisiin vaihteluihin esim. muikkukantojen vaihdellessa hyvin voimakkaasti. Sopeutumiskeinoina ovat olleet pyydettävän kalalajin tai kalastuskohteen vaihtaminen. Sopeutumista helpottavat myös Suomessa vähäarvoisten kalalajien vientihankkeet ulkomaille. Mikäli ahvenkalojen määrä ammattimaisen kalastuksen saaliissa kasvaa siikakalojen kustannuksella, kokonaissaalis todennäköisesti alenee. Saaliin kokonaisarvo kuitenkin tasapainottunee korkeammalla tuottajahinnalla. Ennustetut muutokset ovat niin hitaita, että lyhyen aikavälin muutoksiin jo nyt sopeutumaan tottunut elinkeino pystyy niihin mukautumaan.

Keskeiset tutkimus- ja selvitystarpeet

Ilmastomuutoksen vaikutus järven tuottamiin ekosysteemipalveluihin on monimutkainen prosessi. Tutkimuksen tulisi keskittyä koko järviekosysteemiin alkaen fysikaalis-kemiallisista muutoksista. Tärkeitä painopistealueita ovat:

- lämpötilakerrostuneisuuden muutokset erityyppisissä järvissä
- kalalajien vasteet muuttuviin lämpötiloihin
- kalayhteisön sisäiset vuorovaikutukset
- olemassa olevien biologisten aineistojen hyödyntäminen ilmastomuutos-tutkimuksessa vertaamalla säähavaintoihin
- mallisovellukset kalastuksen säätelyyn ja kalavesien hoitoon.

Matkailu

Hannu I. Heikkinen, Pekka Kauppila, Élise Lépy, Jouni Ponnikas, Arja Rautio

Luontoperustaisen matkailun kriittisiä muutoskynnyksiä (Taulukko 2) ja paikallisia sopeutumiskeinoja suhteessa ilmastomuutosskenaarioihin tutkittiin VACCIA-hankkeessa Oulun yliopistossa kehitetyllä haavoittuvuuden arviointimallilla. Mallissa keskityttiin ekologisiin, sosiaalisiin ja terveysvaikutuksiin sekä määritettiin potentiaalisia sopeutumiskeinoja kahdessa Pohjois-Suomen matkailukunnassa: Kuusamossa, jossa sijaitsee Rukan matkailukeskus ja Sotkamossa, jossa on Vuokatin matkailukeskus.

Taulukko 2. Nykyisen matkailun paikalliset haavoittuvuuskynnykset.

Kuusamon haavoittuvuuskynnykset	Sotkamon haavoittuvuuskynnykset
Talvi	Talvi
<ul style="list-style-type: none"> • Lumetukseen riittävien pakkasten alettava lokakuussa, jotta Ruka voidaan lumettaa syyslomaviikoiksi • Talven (lumi ja pakkanen) kesto 1.12.–15.4. (itsenäisyyspäivä–pääsiäinen) • Jäätyminen: osittain vesistöillä kulkevat safari-reitistöt auki viimeistään 20.12. 	<ul style="list-style-type: none"> • Edellisenä talvena varastoidun lumen levittäminen lokakuussa, jotta ensilumen latu voidaan avata syyslomaviikoiksi • Rinteiden lumetukseen riittävät pakkaset hyvässä ajoin ennen vuoden vaihdetta • Talvisesongin (pysyvä lumi ja jäät) kesto 15.12.–15.4. (joulupääsiäinen) • Lumiaktiviteettien takaraja vuoden vaihe
Kesä	Kesä
<ul style="list-style-type: none"> • Rajoja vaikea määritellä: liika sateisuus ja kylmyys uhkia, toisaalta lämpeneminen voi heikentää vedenlaatua 	<ul style="list-style-type: none"> • Golf-harrastukselle soveliaat sääolosuhteet touko–lokakuussa • Säävaihteluiden ja vesien lämpenemisen vaikutukset vesiaktiviteetteihin voivat olla ristiriitaisia: 1.6.–15.10.
Asiakasmäärät	Asiakasmäärät
<ul style="list-style-type: none"> • Lentokenttä mahdollistaa kolminkertaisen matkailijamäärän • Nykyiset julkiset terveys- ja turvallisuuspalvelut eivät kestä lisäystä • Oulangan kansallispuistossa kävijöitä hajautettava eri reitistöille 	<ul style="list-style-type: none"> • Lentokenttä kestää asiakasmäärän lisäämisen, uhkana sulkeminen • Junarata huomattavalla vajaakäytöllä • Ruuhkaa vain lyhyinä sesonkihuippuina
Sosiaalinen haavoittuvuus	Sosiaalinen haavoittuvuus
<ul style="list-style-type: none"> • Talvisesongin lyhentymisen uhka työntekijöiden jaksamiselle • Kuusamon väestönkehitys huolestuttava peruspalveluiden tuottamisen näkökulmasta 	<ul style="list-style-type: none"> • Peruspalveluiden tilanne hyvä tai kohtalainen (Kajaanin yhteispalvelut ja matkailuelinkeino tukevat peruspalveluita) • Elinkeinojen yhteensovittamisen haasteet (erityisesti kaivokset ja matkailu)

4.4.1

Haavoittuvuuskynnysten tarkastelu

Muuttuva sateisuus, lyhenevät ja lämpenevät talvet sekä huomattava lumipeitteen väheneminen voivat muuttaa luontoperustaisen matkailun toimintaedellytyksiä Pohjois-Suomessa ratkaisevasti. Arviointi keskittyi matkailuun ja paikallisiin matkailutoimijoihin, joiden kanssa hahmoteltiin mahdollisia sopeutumiskeinoja osallistavissa tulevaisuustyöpajoissa.

Tutkimus aloitettiin paikallisen matkailutoiminnan ja matkailukäytäntöjen kartoituksella. Tämä loi perustan tarkastella ilmastomuutoksen roolia muiden paikallisten sosiaalisten ja ympäristöllisten tekijöiden rinnalla. Tutkimuksen vaikuttavuutta edistettiin vastavuoroisella osallistumisella Pohjois-Pohjanmaan liiton ja Kainuun maakunta -kuntayhtymän ilmastostrategian työstämiseen ja esittelemällä tulokset Kuusamon ja Sotkamon kunnanvaltuustoille. Päättöksentekijöiden palaute koski lähinnä tietotarpeita paikallisilmaston muutoksista pitkällä aikavälillä ja matkailun lähtöalueiden näkökulmaa. Tutkimuksessa haastateltiin paikallisia matkailutoimijoita, perehdyttiin matkailun tilaan Kuusamon ja Sotkamon yritys- ja matkailutilastojen avulla ja tutkittiin Ilmatieteen laitoksen keräämiä päivittäisiä lämpötila- ja sateisuushavaintoja rinnan paikallisten ilmastomuutoskenaarioiden kanssa. Tietoja kerättiin myös terveys- ja turvallisuuspalveluiden henkilökunnalta sekä kansainvälisiltä matkanjärjestäjiltä.

4.4.2

Säävaihtelut lisäävät talvimatkailun riskejä

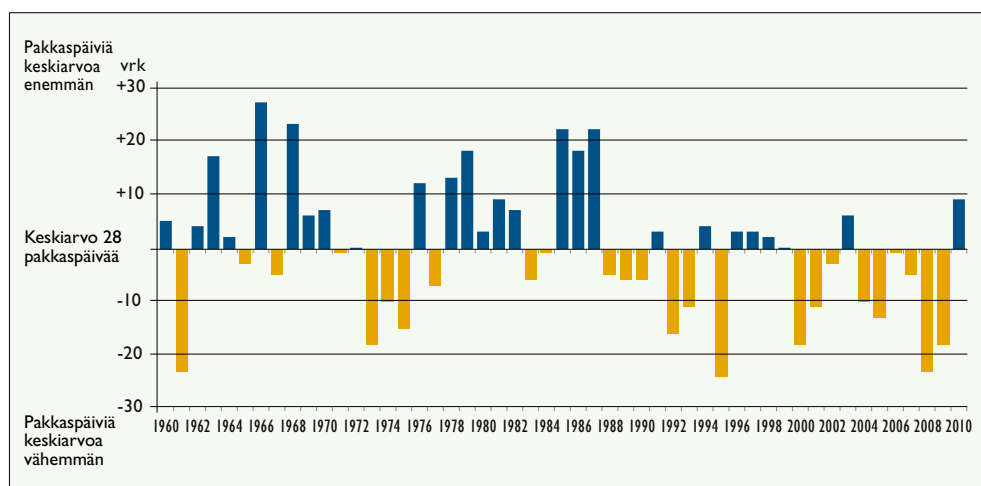
Tutkimustuloksissa korostuivat paikallistason havainnot ja huolet liittyen lisääntyneeseen vesistöjen ja kosteikkojen jäätymisen epävarmuuteen sekä lisääntyneiden säävaihteluiden tuomat riskit erityisesti talvimatkailuun, liikenteeseen ja markkinointiin. Riskien lisääntyminen liittyy varsinkin sään ennustettavuuden heikkenemiseen (Kuvat 20–22). Nämä riskit tulevat lisääntymään, mikäli ilmastomuutoskenaariot toteutuvat.

4.4.3

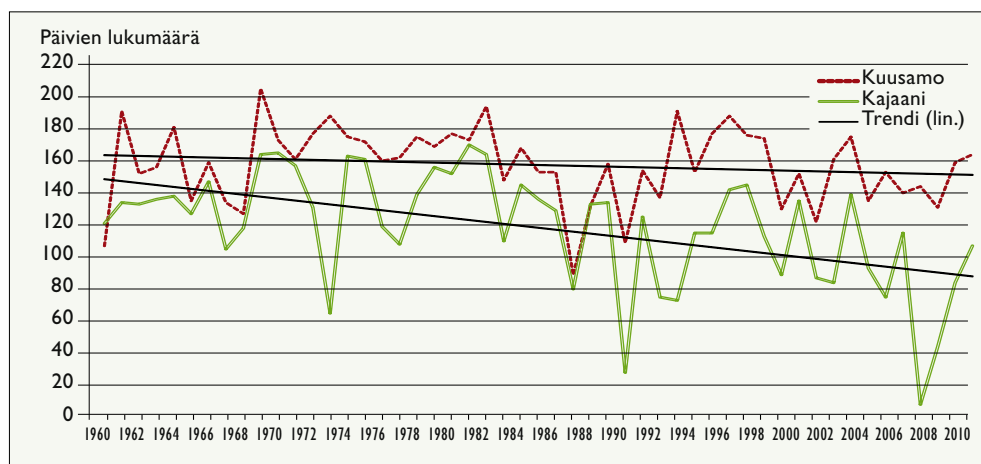
Tärkeimmät sopeutumisen haasteet

Ilmastomuutokseen ennustetut sään epävarmuustekijät yhdistettynä talvimatkaluriippuvuuteen ovat paikallistasolla riskivalinta. Mikäli talvisesonki tulee lyhenemään ja lumipeite vähenee pysyvästi (Kuvat 21 ja 22), se voi lisätä asiakasmääriä huippukausina, kuormittaa lisää paikallisia palveluita, mukaan lukien terveys- ja turvallisuuspalvelut, ja heikentää matkailuinfrastruktuurin vuosittaista käyttöastetta. Toisaalta ilmaston mahdollisen lämpenemisen vaikutukset voivat olla ristiriitaisia: esimerkiksi pintavesien lämpeneminen voi pidentää vesiaktiiviteettikautta, mutta jos vedenlaatu heikkenee esimerkiksi leväkasvustojen ja mikrobitoiminnan lisääntyessä, kehitys saattaa johtaa muun muassa uinti- ja juomavesikieltoihin. Tällaiset muutokset taas voivat heikentää luonnon matkailullista vetovoimaa.

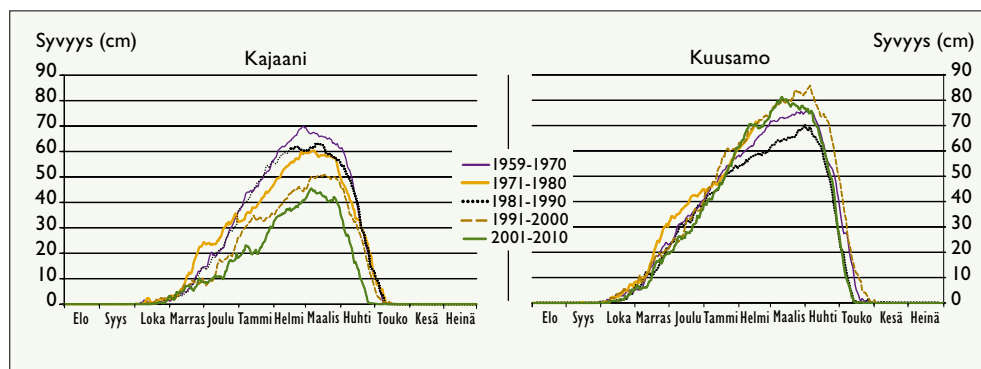
Ilmastollisen epävarmuuden lisääntymisestä käy esimerkkinä kuvasta 22 havaittava lumipeitteen väheneminen ja lumikausien lyheneminen etenkin Kajaanin alueella ja erityisesti viimeisen kymmenvuotisjakson aikana. Kuusamossa kehityssuunta ei ole kuitenkaan yhtä ilmeinen, vaikka toisaalta Kuusamossa 30-vuotisjaksojen keskilämpötilat olivat nousseet enemmän kuin Kajaanissa. Lumipeitteen muodostuminen ja sen jatko vaikutukset esimerkiksi vesistöjen jäätymiseen ovatkin sidoksissa moniin ilmastotekijöihin, joten tulevaa kehitystä on vaikea ennakoida.



Kuva 20. Absoluuttinen pakkaspäivien (päivittäinen minimi alle -20°C) määrän vaihtelu vuosina 1960–2010. Minimilämpötilat on mitattu aamukuuden ja iltakuuden välillä. Talvi 1960 tarkoittaa ajanjaksoa 1.11.1959–30.4.1960. Kuusamolaiset ja sotkamolaiset matkailutoimijat olivat huolestuneita tavanomaisesta poikkeavien säiden lisääntymisestä. Kuvassa voi havaita pakkaspäivien määrän vähenemisen läheisen Kajaanin lentokentän sääasemalla verrattuna 50 vuoden keskiarvoon (säähavainnot, Ilmatieteen laitos).



Kuva 21. Pisimmin yhtäjaksoisesti pysyneen ja monen matkailuaktiviteetin, kuten moottorikelkkailun tarvitseman yli 20 cm paksun lumipeitteen kesto päivinä Kuusamossa ja Kajaani vuosina 1960–2010 (säähavainnot, Ilmatieteen laitos). Talvi 1960 tarkoittaa ajanjaksoa 1.11.1959–30.4.1960. Lumen mittausasemat sijaitsivat ennen vuotta 2000 Kajaanin ja Kuusamon lentokentillä, mutta vuoden 2000 jälkeen Kajaani Paltaniemessä ja Kuusamossa Toranginaholla.



Kuva 22. Päivittäinen lumen maksimisyvyys kymmenvuotiskauskojen keskiarvoina Kajaanin ja Kuusamon lentokentillä vuosina 1959–2010 (säähavainnot, Ilmatieteen laitos).

Matkailupalveluiden kehittäminen sopeutumiskeinona

Tärkeimmät ilmeiset ja ennakoivat sopeutumiskeinot ovat ympärivuotisen matkailun kehittäminen sekä muuttuviin ilmasto-olosuhteisiin perustuvien matkailupalvelujen kehittäminen. Matkailun merkittävin sopeutumishaaste on puolestaan sen riippuvuus muista yhteiskunnallisista toiminnoista ja talouskehityksestä. Esimerkiksi lomakausien sijoittumiseen vaikuttavat myös muut yhteiskunnalliset tekijät kuin tarjolla olevat matkailupalvelut. Vaihtoehtoiset liikenneratkaisut ovat taas yhteydessä muun muassa energiaa ja teknologiaa koskevaan valtiosääntelyyn ja veroratkaisuihin, mukaan lukien yhteiskunnan tuet joukkoliikenteelle. On myös huomattava, että matkailun lähtöalueilla tapahtuvat yhteiskunnalliset ja ympäristölliset muutokset voivat erota matkailun kohdealueiden muutoksista. Tällä saattaa olla hyvin suora ja nopea vaikutus kohdealueen matkailutoimintaan.

Lyhyen aikajänteen sopeutumisessa olisi keskityttävä turvallisten vesistöjen ylityspaikkojen rakentamiseen sekä hiekoituksen ja teiden suolauksen lisäämiseen. Lisäksi vaihtoehtoisia matkailupalveluja olisi kehitettävä vaihteleviin sääoloihin.

Pitkällä aikajänteellä matkailureitistöt olisi saatava kokonaan kuivalle maalle ja ne tulisi pohjustaa niin, että niitä voidaan käyttää ympärivuotisesti ja vähällä lumella. Riskialueiden rakentamista, esimerkiksi rantakaavoja, olisi vältettävä ja ympärivuotisia matkailukohteita ja vetovoimatekijöitä olisi kehitettävä.

Lisäksi matkailun ilmastovaikutusten vähentämiseksi olisi matkailuinfrastruktuurin käyttöasteita ja tehokkuutta lisättävä, joukkoliikennettä kehitettävä ja paikallista uusiutuvaa energiantuotantoa tehostettava.

Keskeiset tutkimus- ja selvitystarpeet

- Ilmastonmuutoksen matkailuvaikutuksia on tutkittava huomioiden sekä matkailun kohde- että lähtöalueet.
- Paikallisten ilmastovaihteluiden ja ilmastoskenaarioiden tutkimusta on lisättävä.
- Poikkitieteellisiä menetelmiä on kehitettävä ilmastonmuutoksen sekä terveys- ja turvallisuuskysymysten tutkimiseksi.

5 VACCIA-hankkeen tuloksista tiedottaminen ja tulosten esittely

EU Life+ -ohjelman tavoitteiden mukaisesti VACCIA-hankkeessa painotettiin erityisesti hankkeen tulosten levittämistä ja tuloksista tiedottamista. Paitsi hankkeessa tuotettuja omia tuotteita ja julkaisuja, VACCIA-hankkeen asiantuntijat ovat vierailleet lukuisissa kansainvälisissä tieteellisissä kokouksissa ja työpajoissa, esitelleet hankkeen tuloksia kansainvälisissä ja kansallisissa yleisölle tarkoitetuissa seminaareissa ja antaneet haastatteluja ja tietoa sekä paikalliselle, alueelliselle että kansalliselle medialle. Tietoa on myös jaettu VACCIA:n Internet-sivustojen kautta ja osahankkeiden omissa Internet-portaaleissa ja -sivuilla.

Tähän mennessä VACCIA on esiintynyt yli 70 kertaa julkisessa mediassa haastateltavina tai kutsuttuina puhujina, jonka lisäksi hankkeessa on julkaistu yli 80 hankkeen omaa tuotetta tai pidetty sidosryhmäseminaareja. Hankkeessa on tehty 7 yleisölle avointa Internet-portaalia tai -sivua ja hankkeen tuloksia on myös jaettu kansalaisille tarkoitetun valtakunnallisen ilmastonmuutosportalin Ilmasto-oppaan kautta (<http://ilmasto-opas.fi/fi/>). VACCIA on myös tuottanut tietoa vuonna 2012 ilmestyvän kansallisen Ilmastonmuutoksen sopeutumistutkimusohjelman (ISTO) yhteenvetoraporttia varten, jonka kautta VACCIA:n tulokset hyödyttävät tulevaa kansallisen ilmastonmuutoksen sopeutumisstrategian tarkistamista.

Tuotetut raportit:

- Yhteenvetoraportti
- Valkea-Kotisen alueen 20-vuotisraportti
- Yleistajuinen katsaus (ns. Layman's report)
- Osahankkeiden raportteja, selvityksiä ja tutkimuksia 61 kpl
- Hankkeen alku- ja loppusite

Järjestetyt seminaarit ja työpajat:

- Kansallinen loppuseminaari
- Osahankkeiden seminaarit ja työpajat 13 kpl

Esitykset kansallisissa ja kansainvälisissä seminaareissa ja kongresseissa: 10 kpl

Tulosten esittely tiedotusvälineissä:

- Valtakunnalliset ja alueelliset lehdet 27 kpl
- Paikallislehdet 17 kpl
- Radio 4 kpl
- Televisio 1 kpl
- Messut ja muut yleisötapahotumat 6 kpl
- Tiedotteet ja uutiset Internetissä 7 kpl

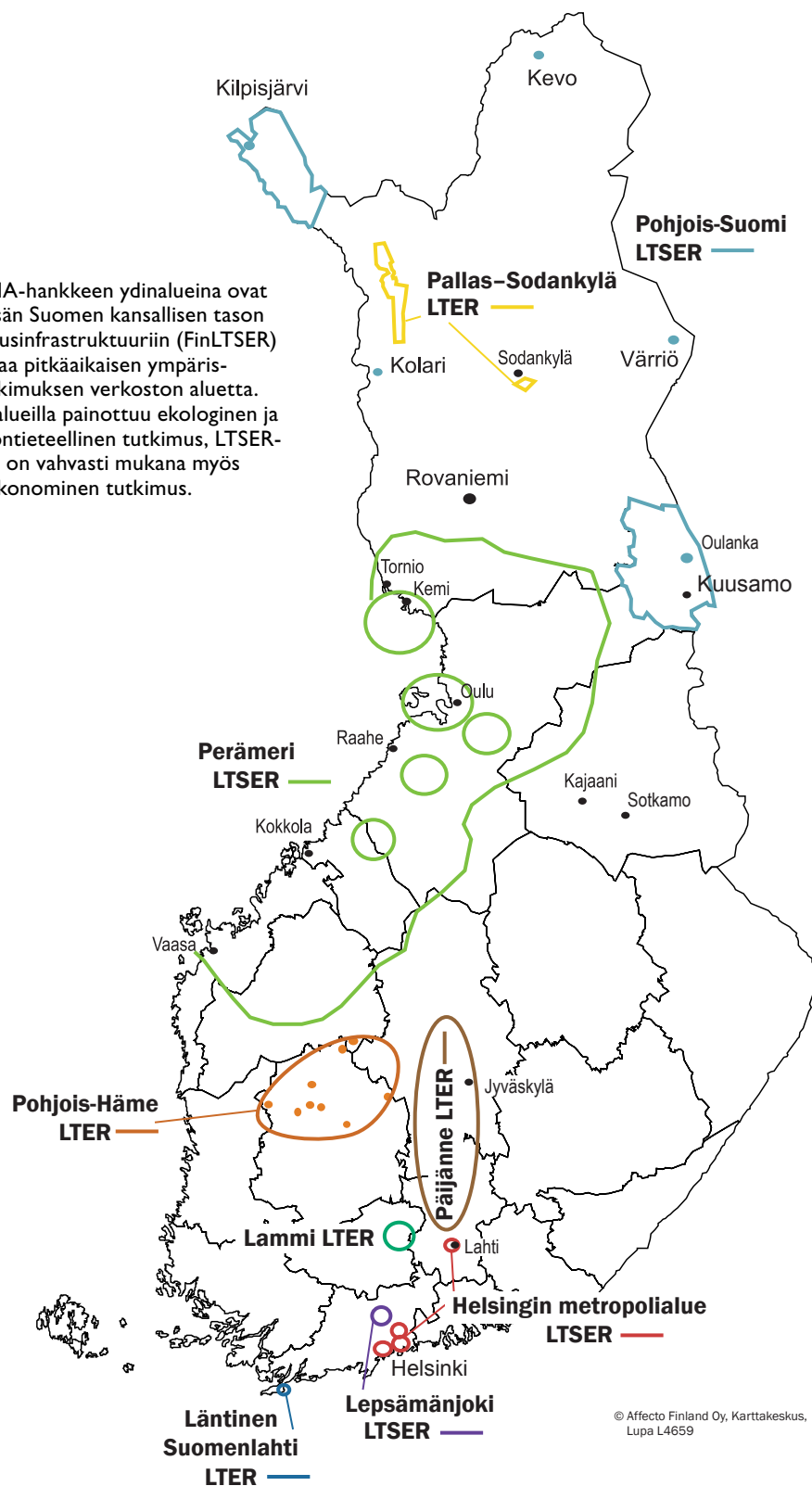
Internetsivut ja -portaalit (kaikki 15.11.2011):

- | | |
|---|--|
| • www.ymparisto.fi/syke/vaccia | Hankkeen kotisivut (suomi) |
| • www.miljo.fi/syke/vaccia | Hankkeen kotisivut (ruotsi) |
| • www.environment.fi/syke/vaccia | Hankkeen kotisivut (englanti) |
| • http://maps.tvvarminne.helsinki.fi | VACCIA paikkatietoportaali rannikko-
ekosysteemien muutosten tunnistami-
seksi |
| • http://vaccia7.maat.helsinki.fi/ | Lepsämäjoen pitkäaikaisen sosio-ekolo-
gisen tutkimuksen verkosto |

- <http://thule.oulu.fi/vaccia/>
 - <http://litdb.fmi.fi/vaccia/database/>
- Oulun yliopiston VACCIA-kotisivut
VACCIA-ilmanlaatatietoportaali, Ilmatieteen laitos, Pallas-Sodankylän GAW-asema

LIITE I. Suomen pitkäaikaisen ympäristötutkimuksen verkosto FinLTSER

VACCIA-hankkeen ydinalueina ovat yhdeksän Suomen kansallisen tason tutkimusinfrastruktuuriin (FinLTSER) kuuluvaa pitkäaikaisen ympäristötutkimuksen verkoston aluetta. LTER-alueilla painottuu ekologinen ja luonnontieteellinen tutkimus, LTSER-alueilla on vahvasti mukana myös sosioekonominen tutkimus.



LIITE 2.VACCIA — keskeiset tulokset ja johtopäätökset

Ilmastoskenaariot	<ul style="list-style-type: none"> • Ilmasto lämpenee talvella enemmän kuin kesällä. Kesällä kuumat päivät yleistyvät ja kuumat jaksot pitenevät. Terminen eli lämpötilojen mukaan määritelty talvi lyhenee, kesä sekä kevät ja Lounais-Suomessa etenkin syksy pitenevät. • Sademäärät lisääntyvät: suhteellinen muutos on suurempi pohjoisessa kuin etelässä. Runsassateisten päivien määrä lisääntyy kaikkina vuodenaikoina, mutta toisaalta etelässä kesällä poutajaksot saattavat jopa pidentyä. • Lumipeite vähenee etenkin etelässä, mutta Lapissa satavan lumen määrä voi lisääntyä keskitalvella. • Talvella suhteellinen kosteus voi hieman nousta. • Syys-huhtikuussa keskimääräinen tuuli voimistuu muutamia prosentteja. • Routakerros hupenee. • Talvet muuttuvat pilvisemmiksi.
Ilmanlaatuskenaariot	<ul style="list-style-type: none"> • Venäjän Kuolan metalliteollisuus tuottaa erityisesti rikkioksidin- ja raskasmetallipäästöjä arktisen alueen ilmakehään. Ajanjaksolla 1996–2009 Kuolan alueelta kulkeutuvien saasteiden pitoisuudet laskivat hiukan. Myös SO₄²⁻-pitoisuus laski. • Keski-Eurooppa on typpiyhdisteiden merkittävin päästöalue, eikä typpiyhdisteille havaittu trendiä. • Viimeisten 10–20 vuoden aikana ilmanlaadun kehitys Pallaksen alueella on ollut suhteellisen myönteinen. Polysyklisen aromaattisten hiilivetyjen (PAH) ja muiden pysyvien orgaanisten yhdisteiden (POP) pitoisuuksissa todettiin laskevia trendejä. Poikkeuksena DDD (dikloorifenyylidikloorietaani, DDT:n hajostusmuoto), jonka pitoisuus oli kuitenkin kasvussa. • Ilmastomallit ennustavat lieviä muutoksia ilmassa olevien kulkeutuvien Pohjois-Suomeen. Nykyisinkin vallitsevat luonteiset ilmavirtaukset tulevat yleistymään edelleen, mutta myös läntiset ja eteläiset ilmavirtaukset yleistyvät idänpuoleisten virtausten kustannuksella. Tämä kehitys vähentää edelleen Kuolan niemimaan saasteiden kulkeutumista Pohjois-Suomeen. • Laivojen päästöjen odotetaan kasvavan arktisilla merialueilla jääpeitteen pienenemisen myötä. Useiden yhdisteiden, kuten rikkidioksidin (SO₂), typen oksidien (NO_x), mustan hiilen, orgaanisen hiilen, hiilimonoksidin (CO) ja hiilidioksidin (CO₂) pitoisuuksien odotetaan kasvavan lisääntyvän laivaliikenteen seurauksena. • Kasvava typpidioksidipitoisuus saattaa lisätä otsonin muodostusta alueella, jolla otsonin muodostusta rajoittavat alhaiset typpidioksidipitoisuudet.
Valuma-alueet ja vesistöt	<ul style="list-style-type: none"> • Havumetsävyöhykkeen maa- ja vesiekosysteemit ovat herkkiä ilmasto-olosuhteiden muutoksille. Muutoksia ennustetaan sekä ravinteiden kiertämisessä että huuhtoumissa vesistöihin. Talviaikaisten lämpötilojen nousu lyhentää maata eroosiolta suojaavaa lumipeitteistä kautta ja kiihdyttää maan mikrobitoimintaa. Ennustettu sademäärien kasvaminen talvella lisää valuntaa. Seurauksena edellä mainituista on lisääntyvä ravinnekuormitus, mikä puolestaan voimistaa vesien rehevöitymistä. • Järvien lämpöolosuhteissa ja kerrostumisessa ennustetaan suuria muutoksia. Ilmaston lämpenemisen myötä järvien jääpeiteaika lyhenee ja talviaikaista jääpeitettä ei muodostu joka vuosi tai jääpeite saattaa muodostua ja sulaa useita kertoja saman talven aikana. Järvien kesäaikaisten pintalämpötilojen ennustetaan nousevan ja kerrostuvissa järvissä kesäaikainen lämpötilakerrostuneisuus on pitkäkestoisempaa ja harppauskerros painuu syvemmälle. • Ilmastonmuutoksen edetessä vesistöjen tuottamat ekosysteemipalvelut ovat erityisen haavoittuvia pinta-alaltaan pienissä ja matalissa järvissä.
Rannikkoalueet	<p>a) Läntinen Suomenlahti</p> <ul style="list-style-type: none"> • Itämeren suolapitoisuudessa voidaan havaita laajaa lyhytaikaisempaa vaihtelua, mutta Suomenlahden rannikolla pitkäaikainen suuntaus on ollut heikosti laskeva. Ilmastonmuutosta on esitetty suolapulssien harvinaistumisen syyksi, mutta syy-yhteys ilmastonmuutokseen ei ole täysin selvillä. • Veden sameuden on havaittu lisääntyvän. Sameuteen vaikuttavat sekä rehevöityminen, lisääntynyt ravinteiden määrä Itämeressä, että valuma-alueelta tuleva muu liuennut ja hiukkasmuotoinen aines. Tulvat ja sateet voivat lisätä ravinteiden ja samentavien aineiden huuhtoumia entisestään. • Itämeren muutosten yhdysvaikutukset näkyvät lajistossa selvästi. Ravintoverkon rakennemuutokset vaikuttavat kalastoon ja heijastuvat suoraan sekä virkistys- että ammattikalastukseen. • Vesilinnuston kevätmuutto on aikaistunut ja syysmuutto myöhentynyt ilmaston lämpenemisen johdosta.

	<p>b) <i>Perämeri</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Ilmaston lämpenemisen myötä on odotettavissa, että Pohjanlahden pohjoisosissa vallitsevien alavien niittyjen kosteusolosuhteet muuttuvat. Erityisesti Perämerellä merivedenkorkeuden nousu hidastaa maankohoamisen aikaansaamaa uuden maaranan paljastumista ja kevätkesäiset lyhytaikaiset tuulitulvat voivat yleistyä (tuulitulvilla tarkoitetaan veden korkeuden nousua tietynsuuntaisilla tuulilla, kun vesi patoutuu lahden pohjukkaan). • Rannat ovat ensisijainen elinympäristö merkittävälle osalle (12,9 %) Suomen uhanalaisista lajeista. • Äärimmäisen uhanalaisen (CR-luokitus) rönsysorsimon (<i>Puccinellia phryganodes</i>) kasvupaikat keskittyvät voimakkaasti jääeroosiovaikutteisten rantojen alimmalle niittyvyöhykkeelle. Rönsysorsimoa on jäljellä koko EU:n alueella enää kaksi esiintymää, molemmat Perämerellä. • Sekä rönsysorsimoa että pohjansorsimoa (<i>Arctophila fulva</i> var. <i>pendulina</i>) uhkaa paikallisesti rantaniittyjen umpeenkasvun myötä lisääntyvä kilpailu muiden heini- en kanssa. • Uhanalaisten lajien osalta myös satunnaisten tulvakatastrofi- en vaikutus populaatioiden elinkykyyn käy entistä todennäköisemmäksi ilmast- on muuttuessa. • Rantojen kahlaajista etelänsuosirri (<i>Calidris alpina schinzii</i>) on suosirrin erittäin uhanalainen (CR) alalaji, ja noin 80 % Suomen etelänsuosirreistä pesii Perämeren laidunnetuilla rantaniityillä. Tuulitulvatuhojen lisäksi lajia uhkaa erityisesti pesimä- kauden aikainen karjanlaidunnus.
Kaupunkiympäristöt	<ul style="list-style-type: none"> • Sademäärien kasvu ilmastomuutoksen myötä ja kiihtyvä kaupungistumisen johtavat lisääntyneeseen huleveden määrään ja sen laadun heikkenemiseen erityisesti alueilla, joilla pinnoitetun alueen osuus on suuri. Sademäärien kasvu sekä rakennetun ja vettä läpäisemättömän pinta-alan lisääntyminen kaupungeissa merkitsee kasvavaa taajamatulvien riskiä. • Monin paikoin alentuneen pohjaveden tason ja huonontuneen laadun sekä erilaisten pintavesiongelmien voidaan katsoa johtuvan elävän, ”vapaasti hengittävän maaperän” puutteesta. • Sopeutuminen ilmastomuutokseen vaatii kokonaisvaltaista näkemystä, missä ymmärretään, että yhden hillintä- tai sopeutumistoimen liiallinen korostaminen voi pahentaa tilannetta toisaalla. Tieteellinen tutkimus on avainasemassa kyseisten ilmiöiden seurauksien ymmärtämisen perusteena.
Monimuotoisuuden ex situ -suojelu	<ul style="list-style-type: none"> • Suomessa uhanalaisten luonnonkasvien ex situ -suojelu keskittyy Oulun, Helsingin, Turun ja Joensuun yliopistojen kasvitieteellisiin puutarhoihin. • Suojelu on tavoitteista selvästi jäljessä, sillä tutkituista 314 uhanalaisesta taksonista on vain 18 % ex situ -suojelun piirissä kun tavoite on 75 %. Suojelussa on myös laadullisia puutteita kuten liian pienet yksilömäärät. • Tulosten pohjalta on laadittu Suomen kansallinen kasvistosuojelun ex situ -toimintaohjelma, joka sisältää II käytännön tavoitetta. Ohjelman yleistavoitteena on saavuttaa vuoteen 2016 mennessä 40 %:n taso Suomen uhanalaisten putkilokasvien suojelussa.
Maatalous	<ul style="list-style-type: none"> • Hankkeessa tuotettiin peltoviljelyn neljä erilaista tulevaisuuskuvaa kahdelle Lepsä- mänjoen valuma-alueen pohjoiselle osa-alueelle kahdelle eri ajankohdalle, vuosille 2025 ja 2055. Viljelykasvilajien ja -lajikkeiden määräsuhteet on määritelty eri tulevaisuusku- vissa siten, että on otettu huomioon ilmastomuutoksen (IPCC:n skenaarion SRES A2 mukaan) tuomat mahdollisuudet uusien lajien ja syyskylvöisten lajikkeiden käyttöönottoon sekä nykyisten lajien laajempaan viljelyyn. Suomalaisessa kasvintuotannossa on jo lähivuosikymmeninä huomattavan erilaisia mahdollisuuksia mm. maatalouspolitiikan suunnasta riippuen. Hankkeessa tuotetut viljelyskenaarit ovat 1) valkuaisomavaraisuuden merkittävä lisääminen, 2) talviaikaisen kasvipeitteisyyden merkittävä lisääminen, 3) monimuotoisuuden merkittävä lisääminen ja 4) yksipuolistuva tuotanto. • Ilmastomuutos merkitsee uusia haasteita maatalouden vesiensuojelulle, jonka nykyiset menetelmät eivät ole olleet riittävän tehokkaita vähentämään maatalouden ravinnekuormitusta asetettujen tavoitteiden mukaisiksi edes nykyisissä olosuhteissa. Mallinnuksen mukaan ilmastomuutos lisää eroosioherkällä alueella kiintoaines- kuormitusta noin 15 %, mutta epäorgaanisen typen kuormitusta vain noin 5 %.

Metsätalous	<ul style="list-style-type: none"> • Havaitusta metsävarojen lisääntymisestä ja metsän kasvun kiihtymisestä on vaikeaa erotella ilmastonmuutoksen vaikutuksia muista muutostekijöistä. • Lustosarjoja tutkittaessa ei ole löydetty viitteitä metsän kasvun kiihtymisestä, mutta on havaittu puiden vuosilustojen leveyden kytkeytyneisyyden lämpötilan vaihteluun heikentyneen viime vuosikymmeninä. Sen sijaan esimerkiksi lehtien puhkeamisen aikasarjassa kevään aikaistuminen näkyy jo. • Suomessa metsien kasvua rajoittavat lähinnä lämpötila ja typen saatavuus, ei niinkään kuivuus. Kohonnut lämpötila nopeuttaa maaperän orgaanisen aineen hajoamista ja vapauttaa siihen sitoutuneen typen kasvien käyttöön. Tämä kiihdyttää puiden kasvua ja runkopuun tuotoksen nousua. • Mallitulosten perusteella IPCC:n ilmastonmuutosskenaarioista lievin (B1) kiihdyttäisi männikön kasvua Etelä-Suomessa 16 % ja Lapissa 31 %. Vastaavasti suurimman muutoksen skenaariolla (A2) kasvua olisi Etelä-Suomessa 40 % ja Lapissa 80 %. Pohjois-Suomen lämpötila saavuttaa tässä skenaariossa nykyisen Etelä-Suomen tason vuosisadan vaihteessa, mutta metsien kasvu jää Etelä-Suomea alhaisemmaksi, koska maaperään kertyneen orgaanisen aineen ja sitä myötä typen varannot ovat Etelä-Suomen nykyistä tasoa alhaisemmat. • Lehtipuiden kasvureaktiot ilmastonmuutoksen myötä ovat herkempiä maaperän viljavuuden muutoksille. Jos typen vapautuminen kiihtyy ennustetusti, koivun kasvureaktio on mäntyä voimakkaampi. • Paikkalinnut ovat hyviä mallilajeja tutkittaessa ilmaston ja elinympäristön muutosten vaikutuksia metsäympäristössä, sillä saman paikan ilmasto- ja maisematekijät vaikuttavat niihin vuoden ympäri. Keväiden lämpenemisen myötä hömötiaisen (<i>Poecile montanus</i>) pesintä Pohjois-Suomessa on merkitsevästi aikaistunut viimeisen 35 vuoden aikana. Ilmaston lämpenemisen mahdollisesti tuomat hyödyt eivät todennäköisesti pysty korvaamaan sopivan elinympäristön vähenemisen ja laadun heikkenemisen aiheuttamia haittoja.
Kalatalous	<ul style="list-style-type: none"> • Ennustetut lämpötilan ja jääpeitteen muutokset vaikuttavat kalojen käyttäytymiseen ja kalastukseen. Myös vesistöjen rehevöitymisellä ja vedenlaadun muutoksilla on vaikutusta kalayhteisöön ja sitä kautta koko kalatalouteen. Osalla kalalajeista kasvukausi voi pidentyä jopa kuukaudella. • Muuttuvan ilmaston vaikutusta muikun ja siian lisääntymiseen selvitetiin laboratoriokokeilla ja mallintamalla ja tulosten perusteella vaikutukset poikasten selviytymiseen voivat olla sekä myönteisiä että kielteisiä. • Vapaa-ajankalastuksen tärkeimpiä saalislajeja ovat ahven, hauki, kuha ja taimen. Näistä lajeista taimen saattaa kärsiä tulevaisuudessa korkeista kesälämpötiloista. Ennustetut veden lämpötilat saattavat olla niin korkeita, että lämpiminä vuosina veden lämpötila ylittää taimenen poikasten sietorajat, jolloin kasvu heikkenee ja kuolleisuus lisääntyy. • Kuha ja ahven sen sijaan ovat lämpimän veden lajeja, jotka hyötyvät lämpötilan noususta. Mallitulosten perusteella kuhan kasvunopeus ja ravinnonkulutus kasvavat jyrkästi. • Kalayhteisöjen muuttuminen tulevaisuudessa ahven- ja särkikalavaltaisempaan suuntaan todennäköisesti tarkoittaa ammattikalastuksessa hyödynnettävän resurssin taloudellisen arvon vähenemistä. Myös järven lämpötilakerrostumisen ja talviolosuhteiden muutokset vaikuttavat ammattikalastukseen.
Matkailu	<ul style="list-style-type: none"> • Muuttuva sateisuus, lyhenevät ja lämpenevät talvet sekä huomattava lumipeitteen väheneminen voivat muuttaa luontoperustaisen matkailun toimintaedellytyksiä Pohjois-Suomessa ratkaisevasti. • Tuloksissa korostuivat paikallistason havainnot ja huolet lisääntyneeseen vesistöjen ja kosteikkojen jäätymisen epävarmuuteen liittyen sekä lisääntyneiden säävaihteluiden tuomat riskit erityisesti talvimatkailuun, liikenteeseen ja markkinointiin. • Riskien lisääntyminen liittyi varsinkin sään ennustettavuuden heikkenemiseen. Nämä riskit tulevat lisääntymään, mikäli ilmastonmuutosskenaariot toteutuvat.

LIITE 3.VACCIA — keskeiset sopeutumishaasteet ja -suositukset

Valuma-alueet ja vesistöt	<ul style="list-style-type: none"> • Valunnan, eroosion ja ravinnekuormituksen arvioitu lisääntyminen ja ajallisten muutosten huomioiminen. • Ilmastonmuutoksen ja maankäytön vaikutusten erottaminen toisistaan. • Vesiensuojelutoimien mitoittaminen ja tehostaminen. • Jääpeitteisen ajan väheneminen ja kelirikkoajan piteneminen vaikeuttavat talvi-aikaista virkistyskäyttöä.
Rannikkoalueet	<p>a) <i>Läntinen Suomenlahti</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Maatalouden päästöjen pienentäminen. • Varautuminen sadannan ja tulvien aiheuttamaan huuhtouman vaikutuksiin. • Toimet: suojavyöhykkeet, lannoitemäärät ja peltoalojen käyttö. • Keinot: biomanipulaatio, särkikalajien poistokalastus (tarvitaan muutosmekanismien ymmärrystä). <p>b) <i>Perämeri</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Maankäytön suunnittelu. • Tulvatuhot minimoivien laidunnus- ja hoitokäytäntöjen valitseminen. • Rantaniittyjen hoitokäytäntöjen kehittäminen. • Maatalouden erityisympäristöjen kohdentaminen ja optimointi.
Kaupunkiympäristöt	<ul style="list-style-type: none"> • Kaupunkirakenteen tiivistyminen on ekosysteemipalvelujen ja kaupunkiluonnon näkökulmasta yksi kaupunkiympäristön keskeisimpiä tulevaisuuden sopeutumishaasteita. Innovatiivisia ja uudentyyppisiä suunnittelu- ja teknisiä ratkaisuja tarvitaan ilmastotavoitteiden ja ekosysteemipalveluiden optimoimiseksi. • Hulevesien imeyttäminen maahan läpäiseviä pintoja lisäämällä tarjoaa varteen otettavan vaihtoehdon hulevesiongelman ratkaisuun kaupunkiympäristössä.
Monimuotoisuuden ex situ -suojaus	<ul style="list-style-type: none"> • Luonnonkasvien ex situ -suojelun laajempi käyttöönotto vaatii asianmukaisen infrastruktuurin kehittämistä (siemenpankki, mikrolisäminen, kryosäilytys, ulkopuutarhakokeet). • Itiökasviryhmiä (sanikkaiset, sammat, sienet, jäkälät) ex situ -suojelun kartoitus.
Maatalous	<ul style="list-style-type: none"> • Jalostettava pitkän päivän olosuhteisiin sopeutuneita lajikkeita, jotka pystyvät hyödyntämään pidemmän kasvukauden ja korkeamman lämpötilan. Viljelykasvien veden ja ravinteiden käytön tehokkuutta, taudinkestävyyttä ja talvehtimiskykyä on myös pyrittävä parantamaan jalostuksella. • Vesiensuojelua on tehostettava pyrkimällä kohti suljettua ravinnekiertoa; kohdennetut toimenpiteet riskialttiimmille pelloille. • Monipuolisemmat viljelykierrat vähentäisivät yksipuolisen viljelyn aiheuttamia riskejä ja haittoja esimerkiksi maan kasvukunnon ja kasvitautilien suhteen. • Toimenpiteiden tulisi olla maatilatasolla toteuttamiskelpoisia niin taloudellisesti kuin viljelyteknisesti; tarvitaan sopeutumista edistäviä pitkäjänteisiä poliittisia päätöksiä ja taloudellisia kannustimia.
Metsätalous	<ul style="list-style-type: none"> • Keskeisimmät sopeutumishaasteet liittyvät puulajivalintaan, metsien uudistamiseen, kasvatustiheksiin, kasvatushakkuiden ajoitukseen ja kuivuuden, sienitautien ja hyönteisten sekä myrskytuhojen vaikutusten huomioimiseen. • Uusiutuvan metsäenergian hyödyntäminen, metsien hiilen sidonta, muut ilmastovaikutukset ja ekosysteemipalvelujen turvaaminen aiheuttavat ristiriitaisia vaatimuksia metsien käytölle. Bioenergian käytön positiivista ilmastovaikutusta pitää verrata metsien hiilivaraston suuruuden muutoksiin. • Metsätaloudessa voisi harkita nykyistä suurempaa vaihtelua sekä puulajikoostumuksessa että kasvatuksen tavoitteissa. • Kasvillisuuden kehityksen nopeutumisesta ja kilpailun lisääntymisestä johtuen metsänhoidon menetelmiä käytettäessä pitää kiinnittää aikaisempaa enemmän huomiota taimikon hoidon ja kasvatushakkuiden ajoitukseen. • Metsämaiseman rakenteen suunnittelussa lajistolle tulisi tarjota siirtymismahdollisuus muuttuvan ilmaston mukaan. • Metsäsuunnittelussa tulisi huomioida paremmin lahoppuusta riippuvaiset eliöt varmistamalla lahoiden esiintymisen jatkuvuus metsänkäsittelyistä huolimatta.
Kalatalous	<ul style="list-style-type: none"> • Ammattikalastuksen on sopeuduttava sekä kalakantojen että olosuhteiden muutoksiin. • Jääpeitteisen ajan lyheneminen syksyllä pidentää troolaukautta, mutta lauhat talvet estävät perinteisen talvinuottauksen harjoittamisen. • Kalatalous on jo tähän mennessä sopeutunut suuriin vuosien väliin vaihteluihin. Sopeutumiskeinoina ovat olleet pyydettävän kalalajin tai kalastuskohteen vaihtaminen. • Vähäarvoisten kalalajien vientihankkeet ulkomaille voivat myös helpottaa sopeutumista.

Matkailu	<ul style="list-style-type: none"> • Ilmastonmuutokseen ennustetut sään epävarmuustekijät yhdistettynä talvimat- kailuriippuvuuteen ovat paikallistasolla riskivalinta. • Ilmaston lämpenemisen vaikutukset voivat olla myös ristiriitaisia: esimerkiksi pintavesien lämpeneminen voi pidentää vesiaktiiviteettikautta, mutta jos veden- laatu heikkenee esimerkiksi leväkasvustojen ja mikrobitoiminnan lisääntyessä, kehitys saattaa johtaa muun muassa uinti- ja juomavesikieltoihin. • Tärkeimmät ilmeiset ja ennakoivat sopeutumiskeinot ovat ympärivuotisen matkailun kehittäminen sekä muuttuviin ilmasto-olosuhteisiin perustuvien matkailupalvelujen kehittäminen. • Sopeutumistoimia tarvitaan sekä lyhyellä (mm. turvallisten vesistöjen ylitys- paikkojen rakentaminen) että pitkällä aikavälillä (mm. riskialueille rakentamista vältettävä). • Matkailun ilmastovaikutusten vähentämistä tulisi edistää (esim. joukkoliiken- teen kehittäminen, paikallisen uusiutuvan energiantuotannon tehostaminen).
----------	--

LIITE 4.VACCIA — tärkeimmät tutkimus- ja selvitystarpeet

Ilmastoskenaariot	<ul style="list-style-type: none"> Kuukauden keskilämpötilan ja sadesumman lisäksi myös muiden ilmastosuureiden, kuten vuorokauden sademäärien, muutosarvioihin sisältyvien epävarmuuksien ja todennäköisyyksien selvittäminen sopeutumistoimien mitoittamiseksi. Ekosysteemipalveluiden haavoittuvuuden arviointi muuttuvassa ilmastossa vaatii kullekin palvelulle räätälöityjä ilmastotietoja. Näiden laatiminen mahdollisimman käyttökelpoisella tavalla vaatii edelleen kehitystyötä. Erityisesti pienen mittakaavan ilmiöiden ja ilmaston alueellisen vaihtelun tarkempi selvittäminen. Ajantasaisten, viimeisimpään tietämykseen perustuvien ja aiempaa yksityiskohteisempien ilmastonmuutoskenaarioiden laatiminen.
Ilmanlaatuskenaariot	<ul style="list-style-type: none"> Sademäärien muutosten vaikutukset ilmanlaatuun. Muuttuvan ilmaston merkitys otsonipitoisuuksille erityisesti pohjoisilla leveysasteilla. Ilmastonmuutoksen välilliset vaikutukset ilmanlaatuun, esim. laaja-alaiset metsäpalot. Biopolttoaineiden lisääntyvän käytön ja ilmaston lämpenemisen yhteisvaikutus ilmanlaatuun (esim. PAH-yhdisteet).
Valuma-alueet ja vesistöt	<ul style="list-style-type: none"> Kasvukauden ulkopuolisen ravinnekuormituksen vähentämiskeinojen tutkiminen, ml. erilaisten keinojen kustannustehokkuus ja toteuttamiskeinot. Energiapuun, mukaan lukien risujen ja kantojen keräämisen aiheuttamien vesistövaikutusten tutkiminen erilaisilla valuma- ja vesistöalueilla, huomioiden ilmastonmuutoksen vaikutukset hydrologiaan ja eroosioon. Typen ja fosforin osuuden selvittäminen vesistöjen rehevöitymisessä ekosysteemipalvelujen turvaamisen näkökulmasta. Mikrobitoiminnan aikaansaaman typen poiston merkityksen selvittäminen sisävesissä. Lämpötilan nousun merkitys vesistöissä tapahtuvalle orgaanisen aineksen hajoamiselle ja maa-alueilta tulevan typpikuormituksen kasvulle selvitettävä. Lisääntyvän orgaanisen aineen huuhtouman vaikutusten tutkiminen sisävesissä, mm. vesihuollon näkökulmasta, sekä kuormituksen hillintäkeinojen selvittäminen ilmastonmuutoksen edetessä. Vesiensuojelutoimien valintaperusteiden, kohdentamisen ja toteuttamisen arvioiminen ottaen huomioon ekologiset, yhteiskuntapoliittiset ja taloudelliset näkökulmat.
Rannikkoalueet	<p>a) <i>Läntinen Suomenlahti</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Ravinnehuuhtoumien ja meteorologisen mittaustiedon välisten suhteiden tarkempi selvittäminen. Maaperän ravinteiden käyttäytymisen tutkiminen eri sadantaskenaarioissa (esim. kuivat kesät – sateiset syksyt). Lajien välisten vuorovaikutussuhteiden tutkiminen merellisissä ekosysteemeissä. Särkikalajien poistokalastuksen todellisten vaikutusten selvittäminen ekosysteemitasolla. Bio-manipulaation muihin lajeihin kohdistuvien vaikutusten tutkiminen. <p>b) <i>Perämeri</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Matalakasvuisten rantojen uhanalaisten kasvien populaatioiden seurannan jatkaminen luotettavan käsityksen saamiseksi 1) häiriötekijöiden ja populaatioiden kasvunopeuden välisestä tasapainosta ja 2) ilmastonmuutoksen vaikutuksesta häiriötekijöiden esiintymistiheyteen ja voimakkuuteen. Rantavyöhykkeen selkärangattomiin eliöihin ja edelleen ravinnonsaannin kautta lintujen lisääntymismenestykseen kohdistuvien ilmastonmuutosvaikutusten tutkiminen. Rantavyöhykkeen eliöstön tarkempi kuvailu muutosten havaitsemiseksi ja seuraamiseksi. Matalakasvuisten niittyjen ennallistamisen ja hoitotapojen vaikutusten tutkiminen, ml. keskeisiä uhanalaisia lajeja koskeva vaikutusanalyysi huomioon ottaen lajin koko elinkierto. Merenrantalaitumien hoidossa käytetyn karjatyypin muutoksen (perinteinen maitorotuinen nautakarja korvautunut lihakarjalla) vaikutukset niittyjen kasvilisuuteen. Merenrantalaidunnuksen ympäristövaikutusten ja eläinten hyvinvoinnin sekä hoitotoimien kannattavuuden tutkiminen.

Kaupunkiympäristöt	<ul style="list-style-type: none"> • Kaupunkien ja kaupunkiympäristöjen toimivuus ns. todellisina laboratorioina ilmastomuutoksen seurauksia selvittäessä. • Eri ekosysteemipalvelujen herkkyys esim. ilmaston lämpenemiselle, rakentamiselle, asuinalueiden sosioekonomiselle rakenteelle tai muille vastaaville ilmiöille. • Selvitys mahdollisuuksista arvottaa ja arvioida ekosysteemipalveluja sellaisin indikaattorein jotka olisivat yhteensopivia taloudellisten mittareiden kanssa osana kaupunkisuunnittelua.
Monimuotoisuuden <i>ex situ</i> -suojelu	<ul style="list-style-type: none"> • Uhanalaisten itiökasvien <i>ex situ</i> -suojelutilanteen ja tarpeen selvittäminen. • Tieteellisten kriteerien luominen uhanalaisten kasvien valitsemiseksi <i>ex situ</i> -suojeluun ja prioriteettilistan luomiseksi. • Suomen kansallisen <i>ex situ</i> -suojeluohjelman toteuttaminen ja integrointi kansainvälisiin sopimuksiin.
Maatalous	<ul style="list-style-type: none"> • Paikallisiin olosuhteisiin sopeutettujen vesiensuojelumenetelmien kehittäminen yhteistyössä viljelijöiden kanssa ja uusien menetelmien tehokkuuden seuranta-tutkimus. • Kasvinsuojeluriskien (kasvitaudit, tuholaiset, rikkakasvit) hallintamenetelmien kehittäminen. • Pellon vesitalouden hallintajärjestelmien kehittäminen (ml. kastelujärjestelmät) ja maatalouden ravinnekiertojen sulkeminen. • Järjestelmätutkimus ilmastomuutoksen lisäksi vaikuttavien merkittävien sosioekonomisten muutostekijöiden yhteisvaikutusten selvittämiseksi. • Erilaisten aluetason viljelykasviyhdistelmien vesistökuormitus ja alueellinen kannattavuus ilmastomuutosolosuhteissa.
Metsätalous	<ul style="list-style-type: none"> • Metsien kasvun vuosien välisen vaihtelun tutkiminen, ml. sen kytkeytyminen säähän ja ääri-ilmiöiden välittömien ja viiveellisten kasvuun ja kuolleisuuteen kohdistuvien vaikutusten tutkiminen. • Eri puulajien ominaisuuksien ja muutokseen reagoinnin tutkiminen. • Metsien pintakasvillisuuden ominaisuuksien ja muutokseen reagoinnin tutkiminen. • Typen käyttäytymisen dynamiikan tutkiminen ml. takaisinkytkennät puuston kasvuun. Tämä on tärkeä tutkimusaihe etenkin energiapuun korjuun yleistyessä. • Bioottisten häiriöiden muutosten tutkiminen. • Lajien säilymisen kannalta tärkeiden elinympäristöjen ominaisuuksien tunnistaminen ja elinympäristöjen tuhoutumisen ja ilmastomuutosten seurauksien tutkiminen (esim. pohjoisten havumetsien lintujen vaste muutoksiin). • Elinympäristöjen kynnysarvojen selvittäminen. • Eri lajien ja eri alueilla elävien saman lajin populaatioiden ilmastomuutosvasteiden tutkiminen. • Populaatioiden dynamiikan ja elinkyvyn tutkiminen ilmastomuutos huomioiden. • Ilmastomuutoksen aiheuttamien fenologisten muutosten tutkiminen usealla ravintoketjun tasolla (kasvit, hyönteiset, linnut) pohjoisen havumetsävyöhykkeen elinympäristöissä.
Kalatalous	<ul style="list-style-type: none"> • Lämpötilakerrostuneisuuden muutoksien tutkiminen erityyppisissä järvissä. • Muuttuvista lämpötiloista aiheutuvien vasteiden tutkiminen eri kalalajeilla. • Kalayhteisön sisäisten vuorovaikutusten tutkiminen. • Olemassa olevien biologisten aineistojen hyödyntäminen ilmastomuutostutkimuksessa vertaamalla säähavaintoihin. • Mallisovellusten kehittäminen kalastuksen säätelyyn ja kalavesien hoitoon.
Matkailu	<ul style="list-style-type: none"> • Ilmastomuutoksen matkailuvaikutusten tutkiminen huomioiden sekä matkailun kohde- että lähtöalueet. • Paikallisten ilmastovaihteluiden ja ilmastoskenaarioiden tutkimuksen lisääminen. • Poikkitieteellisten menetelmien kehittäminen ilmastomuutoksen sekä terveys- ja turvallisuuskysymysten tutkimiseksi.

LIITE 5.VACCIA-hankkeen organisaatio

Hankkeen johto

Martin Forsius, Suomen ympäristökeskus SYKE
martin.forsius@ymparisto.fi

Johtoryhmä

Martin Forsius, Suomen ympäristökeskus SYKE
martin.forsius@ymparisto.fi

Jussi Paatero ja Hannele Hakola, Ilmatieteen laitos
jussi.paatero@fmi.fi

Juha Helenius, Helsingin yliopisto
juha.helenius@helsinki.fi

Juha Karjalainen, Jyväskylän yliopisto
juha.karjalainen@jyu.fi

Kari Laine, Oulun yliopisto
kari.laine@oulu.fi

Työpakettit

1 Yleishallinto

Jussi Vuorenmaa,
Suomen ympäristökeskus SYKE
jussi.vuorenmaa@ymparisto.fi

2 Kaukokartoitus

Saku Anttila,
Suomen ympäristökeskus SYKE
saku.anttila@ymparisto.fi

3 Ilmastoskenaariot

Kirsti Jylhä, Ilmatieteen laitos
kirsti.jylha@fmi.fi

4 Yhteenvedot ja tiedon levitys

Irina Bergström,
Suomen ympäristökeskus SYKE
irina.bergstrom@ymparisto.fi

5 Rannikkoekosysteemit – Läntinen Suomenlahti LTER

Marko Reinikainen, Helsingin yliopisto
marko.j.reinikainen@helsinki.fi

6 Kaupunkiympäristöt – Helsingin metropolialue LTSE

Jussi Kulonpalo, Helsingin yliopisto
jussi.kulonpalo@helsinki.fi

7 Maataloustuotanto – Lepsämäjoki LTSE

Juha Helenius, Helsingin yliopisto
juha.helenius@helsinki.fi

8 Valuma-alueet ja järvet – Lammi LTER

Lauri Arvola, Helsingin yliopisto
lauri.arvola@helsinki.fi

9 Metsien tuotanto – Pohjois-Häme LTER – Pohjois-Suomi LTSE

Eero Nikinmaa, Helsingin yliopisto
eero.nikinmaa@helsinki.fi

10 Kalantuotanto – Päijänne LTER

Juha Karjalainen, Jyväskylän yliopisto
juha.karjalainen@jyu.fi

11 Rannikkoalueiden luonnon monimuotoisuus – Perämeri LTSE

Marko Hyvärinen, Oulun yliopisto ja
Helsingin yliopisto
marko.hyvarinen@helsinki.fi

12 Matkailu – Pohjois-Suomi LTSE

Hannu Heikkinen, Oulun yliopisto
hannu.i.heikkinen@oulu.fi

13 Ilmansaasteiden kulkeutuminen – Pallas-Sodankylä LTER

Hannele Hakola, Ilmatieteen laitos
hannele.hakola@fmi.fi

LIITE 6. VACCIA — tuotteet ja julkaisut aihepiireittäin

Tuotteiden ja julkaisujen sähköiset linkit löytyvät VACCIA-hankkeen Internet-sivuilta osoitteesta www.environment.fi/syke/vaccia.

GMES-tuotteisiin pohjautuvan kaukokartoitusaineiston jalostaminen (Työpaketti 2)

- Anttila, S. & Härmä, P. 2010. Filtered and interpolated time series. VACCIA Deliverable 2. 66 s.
 Anttila, S. & Härmä, P. 2010. Indicator values derived from estimated time series. VACCIA Deliverable 3. 23 s.
 Anttila, S. & Härmä, P. 2010. Time-series of earth observation data (snow melt, phenology, snow, water quality and lake surface temperature). VACCIA Deliverable 1. 52 s.
 Anttila, S. & Härmä, P. 2011. Processed EO-data (Extended GMES-products on snow, phenology and water quality: data delivery along the project from the very beginning) VACCIA Deliverable 4. 2 s.

Ilmastokenaarioiden tuottaminen (Työpaketti 3)

- Jylhä, K. & Laapas, M. 2009. First database on climate change scenarios for assessment work in Actions 5-13. VACCIA Deliverable 1. 11 s.
 Jylhä, K. & Laapas, M. 2010. Climate change scenarios and their final database for assessment work in Actions 5-13. VACCIA Deliverable 2 & 3. 17 s.

Yhteenvedot ja tiedon levitys (Työpaketti 4)

- Bergström I., Mattsson, T., Niemelä, E., Vuorenmaa J., Forsius, M. & (toim.) 2011. Ekosysteemipalvelut ja elinkeinot – haavoittuvuus ja sopeutuminen muuttuvaan ilmastoon. VACCIA-hankkeen yhteenvetora-portti. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. Suomen ympäristö 26/2011. VACCIA Deliverable 3. 74 s.
 Niemelä, E., Bergström, I., Mattsson, T., Vuorenmaa, J. & Forsius, M. (toim.) 2011. VACCIA – Yleistajuinen katsaus (suomeksi ja englanniksi). VACCIA Deliverable 2 (käsikirjoitus).
 VACCIA-hankkeen alkuesite 2009. (suomeksi, ruotsiksi ja englanniksi) VACCIA Deliverable 1.
 VACCIA-hankkeen loppuesite 2011. (suomeksi, ruotsiksi ja englanniksi) VACCIA Deliverable 1 (käsikirjoitus).

GIS-alustan kehittäminen rannikkoekosysteemien hallintakriteereiden muutosten tunnistamiseen (Työpaketti 5)

- Action 5. List of publications on field objects in the region. VACCIA Deliverable 2. 23 s.
 Alsuhaile, F. 2009. Data investigation. VACCIA Deliverable 1. 15 s.
 Jokinen, H. 2010. Major potentially climate induced changes in the coastal ecosystem of the western Gulf of Finland - a review. VACCIA Deliverable 5. 39 s.
 Lehikoinen, A. 2011. Adaption and policy targets: The impact of climatic changes on the protection and hunting periods of birds. VACCIA Deliverable 6. 21 s.
 Lintujen muuton ajoittumisen tutkiminen Hangon lintuasemalla. 2010. http://maps.tvvarminne.helsinki.fi/graphics/Halias-lintudata_FL.html. VACCIA Deliverable 4.
 Reinikainen, M. 2011. Åtgärdsprogram för Pojoviken – genomgång av åtgärder, nuvarande tillstånd, och rekommendationer för framtiden. VACCIA Deliverable 7. 13 s.
 VACCIA:n paikkatietoportaali. 2010. <http://maps.tvvarminne.helsinki.fi/>. VACCIA Deliverable 3.

Ilmastomuutoksen ja maankäytön yhteisvaikutukset kaupunkiympäristöissä (Työpaketti 6)

- 5th stakeholder meeting and 2nd stakeholder seminar, presentation of main findings, publication incl. recommendations. VACCIA Deliverable 8 (käsikirjoitus).
 Setälä H., Niemelä, J., Loikkanen, H. A., Kortteinen, M., Vaattovaara, M., Yli-Pelkonen, V., Kurunmäki, K., Ristisuo, H., Ruth, O., Immonen, S. & Sillanpää, N. 2009. How to construct ecologically and socially sustainable urban environments? -A literature review on climate change, runoff waters and land-use impacts in urban environments. VACCIA Deliverable 1. 42 s.
 Setälä, H., Niemelä, J., Loikkanen, H. A., Kortteinen, M., Vaattovaara, M., Yli-Pelkonen, V., Kurunmäki, K., Ristisuo, H., Ruth, O., Valtanen, M. & Sillanpää, N. 2010. First year data collected and documented. VACCIA Deliverable 3. 30 s.
 Setälä H., Valtanen, M., Helkanvaara, T., Taka, M., Lundberg, P., Ruth, O., Yli-Pelkonen, V. & Kulonpalo, J. 2011. Second year data collected and documented. VACCIA Deliverable 6. 21 s.
 VACCIA Action 6: 2nd Stakeholder Meeting 280110 Lahti. 2010. VACCIA Deliverable 4. 5 s.
 VACCIA Action 6: 4th stakeholder meeting documented. 2011. VACCIA Deliverable 7. 11 s.
 VACCIA Action 6: Muistiinpanot sidosryhmäkokouksesta, Minutes of the stakeholder meeting 240809. 2009. VACCIA Deliverable 2. 5 s.
 VACCIA Action 6: Third stakeholder meeting and first stakeholder seminar. 2010. VACCIA Deliverable 5. 7 s.

Vaikutusten ja sopeutumistoimenpiteiden arviointi maataloustuotannossa (Työpaketti 7)

- Schulz, T.M. 2009. Ilmastomuutoksen vaikutukset Suomen maatalouteen. VACCIA Deliverable 1. 38 s.
 Technical report on the approach, process and results. VACCIA Deliverable 7 (käsikirjoitus).
 VACCIA Action 7. Closing stakeholder seminar. 2011. VACCIA Deliverable 6. 7 s.
 VACCIA Action 7. Database for the interactive demonstration platform. 2010. VACCIA Deliverable 3. 13 s.
 VACCIA Action 7. Documentation of data (meta-data). 2010. VACCIA Deliverable 2. 17 s.
 VACCIA Action 7. The interactive web-platform. www.sivusto: Lepsämänjoki LTSE. <http://vaccia7.maat.helsinki.fi/>. VACCIA Deliverable 5.
 VACCIA Action 7. Thematic GIS maps. 2011. VACCIA Deliverable 4. 13 s.

Valuma-alueiden ja järvien herkkyys sekä sopeutuminen ilmastonmuutoksen vaikutuksiin (Työpaketti 8)

- Arvola, L. & Sairanen, S. 2011. Report on data collection in the Lammi LTER area in 2010. VACCIA Deliverable 7. 7 s.
- Arvola, L. & Sairanen, S. 2010. Report on data collection in the Lammi LTER area in 2009. VACCIA Deliverable 4. 6 s.
- Document of 5th stakeholder meeting and 2nd stakeholder workshop. VACCIA Deliverable 9 (käsikirjoitus).
- Sairanen, S. 2010. Raportti VACCIA-hankkeen metsätalouden vesiensuojelu-työpajasta "Metsätalouden vesiensuojelutoimenpiteiden sopeuttaminen ilmastonmuutokseen". VACCIA Deliverable 6. 23 s.
- Sairanen, S. 2009. Raportti VACCIA-aloitusseminaarista, Report of the 1st stakeholder meeting. VACCIA Deliverable 2. 21 s.
- Sairanen, S. 2010. Raportti VACCIA-hankkeen maatalous-työpajasta "Maatalouden vesiensuojelutoimenpiteiden sopeuttaminen ilmastonmuutokseen". VACCIA Deliverable 5. 20 s.
- Sairanen, S. 2011. Raportti VACCIA-hankkeen vesistöjen virkistyskäyttö-työpajasta "Ilmastonmuutoksen tuomat haasteet vesistöjen virkistyskäytölle sekä tuleviin olosuhteisiin sopeutuminen". VACCIA Deliverable 8. 17 s.
- Sairanen, S., Arvola, L. & Rask, M. 2009. Report on environmental variables available in the region. VACCIA Deliverable 1. 9 s.
- Vuorenmaa, J., Arvola, L. & Rask, M. (toim.) 2011. Hämeen ympäristö muutoksessa. Kaksikymmentä vuotta ympäristön tutkimusta Valkea-Kotisen huippuseuranta-alueella. Suomen ympäristö (käsikirjoitus). VACCIA muu tuote.

Ilmastonmuutoksen vaikutukset metsätalouteen ja niihin sopeutuminen; Pohjois-Hämeen ja Itä-Lapin tapaustutkimukset (Työpaketti 9)

- Kolari, P., Valsta, L., Cao, T., Nikinmaa, E., Mäkelä, A., Hari, P. & Hölttä, T. 2011. Impact of changing climate on optimal silviculture. VACCIA Deliverable 3. 22 s.
- Nikinmaa, E., Kolari, P., Hari, P., Hölttä, T. & Mäkelä, A. 2010. Process based model of pine and spruce growth to predict climate change impacts. VACCIA Deliverable 2. 25 s.
- Regional predictions of forest structure. VACCIA Deliverable 5 (käsikirjoitus).
- Stakeholder seminar 3 documented. VACCIA Deliverable 6 (käsikirjoitus).
- Technical report on results. VACCIA Deliverable 7 (käsikirjoitus).
- VACCIA Action 9: Report on the stakeholder seminars 1. 2009. VACCIA Deliverable 1. 26 s.
- VACCIA Action 9: Report on the stakeholder seminars 2. 2011. VACCIA Deliverable 4. 31 s.

Ilmastonmuutoksen vaikutukset Päijänteen kalatalouteen, hydrologiaan ja vedenlaatuun sekä sopeutumiskeinot muutoksiin (Työpaketti 10)

- Keskinen, T., Pulkkanen, M., Huttula, T. & Karjalainen, J. 2009. Reports 1a and 1b. VACCIA Deliverable 1. 24 s.
- Keskinen, T., Pulkkanen, M., Huttula, T. & Karjalainen, J. 2010. Report 2. VACCIA Deliverable 2. 29 s.
- Keskinen, T., Pulkkanen, M., Huttula, T. & Karjalainen, J. 2011. Report 3. VACCIA Deliverable 5. 30 s.
- VACCIA Action 10: Joint workshop for both themes. 2011. VACCIA Deliverable 4. 1 s.
- VACCIA Action 10: Web pages. 2010. www.ymparisto.fi/default.asp?node=24115&lan=fi, www.environment.fi/default.asp?node=24078&lan=en. VACCIA Deliverable 3.

Arvio ilmastonmuutoksen vaikutuksista rannikkoekosysteemien monimuotoisuuteen sekä uusien menettelytapojen ja suojelustrategioiden toimeenpano (Työpaketti 11)

- Aikio, S., Hyvärinen, M., Koivula, K., Lampila, S., Markkola, A.M., Niemelä, M., & Pakanen, V.-M.. 2011. Between devil and (not a very) deep blue sea -Endangered sea shore species in a changing climate. VACCIA Deliverable 2. 33 s.
- Niemelä, M. 2010. Merenrantaniittyjen hoidon laajuus ja menetelmät: nykytilan arviointi. VACCIA Milestone 3. 10 s.
- Orell, M. 2009. Outline of research methodologies, conservation stage and management of boreal forest species. VACCIA Milestone 2. 3 s.
- Orell, M., Lampila, S., Kangas, K., Votka, E., Rytönen, S., Nikula, A. & Nivala, V. 2011. Climatic and habitat contributions to populations of managed forest landscapes. VACCIA Deliverable 1. 26 s.
- Strategy and action plan for *ex situ* conservation of threatened plants in Finland. VACCIA Deliverable 3 (käsikirjoitus).

Ilmastonmuutoksen vaikutusten arviointi ja matkailun sopeutuminen muutokseen kahdella pohjoissuomalaisella paikkakunnalla: ilmastonmuutoksen ekologiset, sosiaaliset ja terveysvaikutukset (Työpaketti 12)

- Heikkinen, H.I. (toim.) 2010. Ilmastonmuutos ja matkailun haasteet Kuusamossa ja Sotkamossa - Matkailun haavoittuvuuden ja sopeutumisen arviointi osallistavan tulevaisuuden tutkimuksen menetelmällä (Climate change and challenges to tourism in Kuusamo and Sotkamo). VACCIA Deliverable 1. 48 s.
- Heikkinen, H.I., Karjalainen, T.P., Kauppila, P., Lépy, É., Ponnikas, J., Rautio, A. & Saarinen, J. 2011. Ilmastonmuutokseen sopeutuminen ja muutoksen seuranta pohjoisilla matkailualueilla VACCIA Deliverable 3. 18 s.
- Häkkilä, H. & Kauppila, P. 2009. Rukan ja Vuokatin matkailukeskusten sosioekonomiset piirteet paikkatietonäkökulmasta. Oulun yliopisto, Lönnrot-instituutin julkaisuja 13. VACCIA muu tuote, 58 s.

- Kauppila, P. 2009. Kuusamon kaupungin matkailutalous v. 2007. Naturpolis Kuusamo. Työpapereita 1/2009. VACCIA muu tuote. 29 s.
- Kauppila, P. 2009. Sotkamon kunnan matkailutalous vuonna 2007. Oulun yliopisto, Kajaanin kehittämiskeskus, Aluekehitys. REDEC Kajaani, Working Papers 68. VACCIA muu tuote. 36 s.
- Kauppila, P., Heikkinen, H.I., Lépy, É., Ponnikas, J., Rautio, A. & Vihervaara, V. 2011. Ilmastonmuutos ja matkailu pohjoisilla alueilla. VACCIA Deliverable 2. 20 s.

Arvio ilmastonmuutoksen vaikutuksesta ilmansaasteiden kulkeutumiseen arktisille alueille (Työpaketti 13)

- Anttila, P., Hakola, H., Vestenius, M., Ryöppö, T., Hellen, H. & Leppänen, S. 2010. Sources and trends of air pollutants at Pallas. VACCIA Deliverable 3. 37 s.
- Anttila, P., Virkkula, A., Ruosteenoja, K., Hakola, H., Vestenius, M., Ryöppö, T., Hellen, H. & Leppänen, S. 2011. Assessment of the impacts of climate change on pollution transport to the Arctic region, Final report 30.06.2011. VACCIA Deliverable 4. 21 s.
- VACCIA Action 13: First database on pollution levels/loads for impact assessment. 2009. http://litdb.fmi.fi/apache2-default/mysql_testi/metalli_alku.php, http://litdb.fmi.fi/apache2-default/mysql_testi/paaioni_alku.php, http://litdb.fmi.fi/apache2-default/mysql_testi/pallas_CO2_alku.php. VACCIA Deliverable 1.
- VACCIA Action 13: Second database on pollution levels/loads for impact assessment. 2010. <http://litdb.fmi.fi/vaccia/database/>. VACCIA Deliverable 2.

KUVAILULEHTI

<i>Julkaisija</i>	Suomen ympäristökeskus (SYKE)			<i>Julkaisu-aika</i> Marraskuu 2011
<i>Tekijä(t)</i>	Bergström Irina, Mattsson Tuija, Niemelä Eerika, Vuorenmaa Jussi, Forsius Martin (toim.)			
<i>Julkaisun nimi</i>	Ekosysteemipalvelut ja elinkeinot — haavoittuvuus ja sopeutuminen muuttuvaan ilmastoon. VACCIA-hankkeen yhteenvetoraportti.			
<i>Julkaisusarjan nimi ja numero</i>	Suomen ympäristö 26/2011			
<i>Julkaisun tema</i>	Ympäristönsuojelu			
<i>Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut</i>	Julkaisu on saatavana myös internetissä: www.ymparisto.fi/julkaisut			
<i>Tiivistelmä</i>	<p>Tämä raportti on yhteenveto Euroopan unionin LIFE+ -ohjelman rahoittaman hankkeen ”Luonnon tarjoamien palveluiden haavoittuvuusarviointi ja sopeutuminen muuttuvaan ilmastoon –VACCIA” tuloksista. Laajassa kolmevuotisessa (2009-2011) Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) koordinoimassa hankkeessa olivat mukana SYKE, Ilmatieteen laitos sekä Helsingin, Jyväskylän ja Oulun yliopistot. Yhteenvetoon on koottu VACCIA-hankkeen 13 osahankkeen tärkeimmät tulokset. Lisäksi on arvioitu ilmastomuutoksen aiheuttamia uhkia ja haasteita ekosysteemipalveluille ja elinkeinoille sekä ehdotettu tapoja, joilla elinkeinot voivat sopeutua muuttuviin olosuhteisiin. Raportissa on myös tuotu esiin lisätutkimustarpeita.</p> <p>Julkaisun johdantoluvussa kerrotaan ekosysteemipalvelukäsitteestä ja luodaan katsaus politiikkaprosesseihin, joissa käsitellään ekosysteemipalveluja ja niiden sopeutumista muuttuvaan ilmastoon sekä esitellään VACCIA-hanketta. Osahankkeiden tulokset on koottu seuraaviin kolmeen lukuun, joista ensimmäisessä esitellään eräitä muutosten seurantaan ja tulevien muutosten ennustamiseen liittyviä keskeisiä menetelmiä, toisessa kerrotaan ekosysteemipalveluiden muutoksesta ja kolmannessa tarkastellaan elinkeinojen haavoittuvuutta ja sopeutumista. Julkaisuun liittyy myös laaja yhteenveto-osa.</p> <p>Muutosten ennustamisessa ja seurannassa on käytetty mm. ilmasto- ja ilmanlaatuskenaarioita sekä kaukokartoitus- ja paikkatietoaineistoja. Ekosysteemipalveluista on keskitytty tarkastelemaan valuma-alueiden ja vesistöjen tuottamia palveluja sekä esimerkkilajien avulla rannikko-, vesi- ja metsäluonnon monimuotoisuuden muutoksia. Kaupunkien tarvitsemia ekosysteemipalveluja on tarkasteltu ilmastomuutoksen ja maankäytön muutoksen näkökulmasta. Elinkeinoista on tarkasteltu maataloutta, metsätaloutta, kalataloutta ja matkailua.</p>			
<i>Asiasanat</i>	ilmastonmuutokset, ekosysteemipalvelut, vaikutukset, sopeutuminen, maatalous, metsätalous, kalatalous, matkailu, Suomi			
<i>Rahoittaja/ toimeksiantaja</i>	Euroopan unionin LIFE+ -ohjelma			
	ISBN 978-952-11-3932-1 (nid.)	ISBN 978-952-11-3933-8 (PDF)	ISSN 1238-7312 (pain.)	ISSN 1796-1637 (verkkok.)
	Sivuja 74	Kieli suomi	Luottamuksellisuus julkinen	Hinta (sis.alv 8 %)
<i>Julkaisun myynti/ jakaja</i>	Suomen ympäristökeskus (SYKE), asiakaspalvelu PL 140, 00251 Helsinki Puh. 020 690 183, faksi (09) 5490 2190 Sähköposti: neuvonta.syke@ymparisto.fi			
<i>Julkaisun kustantaja</i>	Suomen ympäristökeskus (SYKE) PL 140, 00251 Helsinki Puh. 020 610 123 Sähköposti: neuvonta.syke@ymparisto.fi , www.ymparisto.fi/syke			
<i>Painopaikka ja -aika</i>	Vammalan kirjapaino, Sastamala 2011			

PRESENTATIONSBLAD

Utgivare	Finlands miljöcentral (SYKE)			Datum November 2011
Författare	Bergström Irina, Mattsson Tuija, Niemelä Eerika, Vuorenmaa Jussi, Forsius Martin, (red.)			
Publikationens titel	Ekosysteemipalvelut ja elinkeinot — haavoittuvuus ja sopeutuminen muuttuvaan ilmastoon. VACCIA-hankkeen yhteenvetoraportti. (Ekosystemtjänster och näringarna — sårbarhet och anpassning till föränderligt klimat. VACCIA-projektets syntesrapport).			
Publikationsserie och nummer	Finlands miljö 26/2011			
Publikationens tema	Miljövård			
Publikationens delar/andra publikationer inom samma projekt	Publikationen finns tillgänglig också på Internet www.ymparisto.fi/julkaisut (på finska).			
Sammandrag	<p>Denna rapport är ett sammandrag av resultaten från projektet "Sårbarhetsanalys för ekosystemtjänster och anpassning till klimatförändring –VACCIA" finansierat av Europeiska unionens program LIFE+. I det omfattande treåriga (2009–2011) projektet koordinerat av Finlands miljöcentral (SYKE) deltog även Meteorologiska institutet samt universiteten i Helsingfors, Jyväskylä och Uleåborg. I sammandraget finns de viktigaste resultaten från 13 delprojekt inom VACCIA-projektet samlade. Inom delprojekten har man gjort bedömningar av vilka hot och utmaningar som klimatförändringen orsakar för ekosystemtjänsterna och näringarna. Man har också föreslagit olika sätt för näringarna att anpassa sig till föränderliga förhållanden. I rapporten presenteras även behoven av tilläggforskning.</p> <p>I publikationens inledningskapitel presenteras begreppet ekosystemtjänster och en översikt av politiska processer som behandlar ekosystemtjänster och hur de anpassas till klimatförändringen. Resultaten från delprojekten har samlats i de följande tre kapitlen. I det första kapitlet presenteras de viktigaste metoderna för att observera och förutspå kommande förändringar som använts inom projektet. I det andra kapitlet berättas om förändringarna i ekosystemtjänsterna och i det tredje granskas hur sårbara och anpassningsbara näringarna är. I publikationen ingår även en omfattande sammandragsdel. I de bifogade tabellerna presenteras på ett koncentrerat och samlat sätt projektets huvudresultat och slutsatser och anpassningsutmaningar och behov av tilläggforskning som härletts från dessa.</p> <p>För att följa och förutspå förändringarna har man bl.a. använt scenarier för klimat och luftkvalitet samt material från fjärranalyser och områdesinformation som producerats inom projektet. Bland ekosystemtjänsterna granskas de tjänster som avrinningsområdena och vattendragen skapar. Med hjälp av exempelarter granskas förändringar i den biologiska mångfalden vid kusten, vattendragen och i skogen. De ekosystemtjänster som städerna behöver har granskats med avseende på klimatförändring och markanvändning. Inom näringarna har man granskat jordbruk, skogsbruk, fiskeri och turism.</p>			
Nyckelord	klimatförändringar, ekosystemtjänster, effekter, anpassning, lantbruk, skogsbruk, fiskeri, turism, Finland			
Finansiär/uppdragsgivare	Europeiska unionens program LIFE+			
	ISBN 978-952-11-3932-1 (hft.)	ISBN 978-952-11-3933-8 (PDF)	ISSN 1238-7312 (print)	ISSN 1796-1637 (online)
	Sidantal 74	Språk Finska	Offentlighet Offentlig	Pris (inh. moms 8 %)
Beställningar/distribution	Finlands miljöcentral (SYKE), kundservice PB 140, 00251 Helsingfors Tfn. +358 20 690 183, fax +358 9 5490 2190 Epost: neuvonta.syke@ymparisto.fi			
Förläggare	Finlands miljöcentral (SYKE) PB 140, 00251 Helsingfors Tfn. +358 20 610 123 Epost: neuvonta.syke@ymparisto.fi , www.miljo.fi/syke			
Tryckeri/tryckningsort och -år	Vammalan kirjapaino, Sastamala 2011			

DOCUMENTATION PAGE

<i>Publisher</i>	Finnish Environment Institute (SYKE)			<i>Date</i> November 2011
<i>Author(s)</i>	Bergström Irina, Mattsson Tuija, Niemelä Eerika, Vuorenmaa Jussi, Forsius Martin (ed.)			
<i>Title of publication</i>	Ekosysteemipalvelut ja elinkeinot — haavoittuvuus ja sopeutuminen muuttuvaan ilmastoon. VACCIA-hankkeen yhteenvetoraportti. (Ecosystem Services and Livelihoods — Vulnerability and Adaptation to a Changing Climate. VACCIA project's synthesis report.)			
<i>Publication series and number</i>	Finnish environment 26/2011			
<i>Theme of publication</i>	Environmental protection			
<i>Parts of publication/ other project publications</i>	The publication is available on the internet: www.ymparisto.fi/julkaisut			
<i>Abstract</i>	<p>This report is a summary of results from the project Vulnerability Assessment of Ecosystem Services for Climate Change Impacts and Adaptation (VACCIA), funded by the European Union's LIFE+ programme. Partners in the extensive three-year (2009–2011) project, coordinated by the Finnish Environment Institute (SYKE), included the Finnish Meteorological Institute, the University of Helsinki, the University of Jyväskylä and the University of Oulu. Key results from the 13 VACCIA Actions are compiled in the summary. The Actions assessed the threats and challenges posed by climate change to ecosystem services and livelihoods, and suggested methods for adapting to changing conditions. The report also highlights further research needs.</p> <p>The publication's introduction describes the ecosystem service concept and provides an insight into policy processes for handling ecosystem services and their adaptation to a changing climate. Results of the Actions are assembled in the following three chapters, the first presenting key methods used in the project for monitoring changes and predicting future changes, the second describing the change in ecosystem services, and the third reviewing vulnerability and adaptation. An extensive summary section is also included. Annexed tables present the project's key results and conclusions compactly, alongside the resulting adaptation challenges and needs for further research.</p> <p>Monitoring and prediction of changes is based, e.g. on climate and air quality scenarios produced by the project, and remote sensing and geographic information materials. Of ecosystem services, those produced by catchments and water bodies are examined, alongside changes in the biodiversity of coastal, water and forest environments, studied with the help of sample species. Ecosystem services needed by urban areas are examined from the viewpoint of climate change and changes in land use. Among livelihoods, agriculture, forestry, fisheries and tourism are studied.</p>			
<i>Keywords</i>	climate change, ecosystem services, impacts, adaptation, agriculture, forestry, fisheries, tourism, Finland			
<i>Financier/ commissioner</i>	The European Union's LIFE+ programme			
	ISBN 978-952-11-3932-1 (pbk.)	ISBN 978-952-11-3933-8 (PDF)	ISSN 1238-7312 (print)	ISSN 1796-1637 (online)
	No. of pages 74	Language Finnish	Restrictions Public	Price (incl. tax 8 %)
<i>For sale at/ distributor</i>	Finnish Environment Institute (SYKE), Customer service P.O.Box 140, FI-00251 Helsinki, Finland Tel. +358 20 690 183, fax +358 9 5490 2190 Email: neuvonta.syke@ymparisto.fi			
<i>Financier of publication</i>	Finnish Environment Institute (SYKE) P.O.Box 140, FI-00251 Helsinki, Finland Tel. +358 20 610 123, fax +358 20 490 2190 Email: neuvonta.syke@ymparisto.fi , www.environment.fi/syke			
<i>Printing place and year</i>	Vammalan kirjapaino, Sastamala 2011			

Ilmaston muuttuminen vaikuttaa luonnon ihmiselle tarjoamiin ekosysteemipalveluihin. Esimerkiksi monimuotoiset ekosysteemit, puhtaat, riittävät ja hyvälaatuiset vesivarat tai tasapainoinen kaupunkiympäristöjen vesitalous ovat uhattuina. Muuttuvat ja heikentyvät ekosysteemipalvelut vaikuttavat haitallisesti myös niistä riippuvaisiin elinkeinoin kuten maa-, metsä- ja kalatalouteen sekä matkailuun. Ilmasto on muuttumassa, ja sopeutuminen on ajankohtaista jo tänään.

Ilmastonmuutoksen vaikutuksia ja ekosysteemipalvelujen ja elinkeinon sopeutumismahdollisuuksia on arvioitu Euroopan unionin LIFE+ -ohjelman rahoittamassa hankkeessa ”Luonnon tarjoamien palveluiden haavoittuvuusarviointi ja sopeutuminen muuttuvaan ilmastoon — VACCIA”. Kolmivuotisessa (2009–2011) Suomen ympäristökeskuksen johtamassa hankkeessa olivat mukana myös Ilmatieteen laitos sekä Helsingin, Jyväskylän ja Oulun yliopistot. Tässä yhteenvetoraportissa esitellään hankkeen päätulokset ja johtopäätökset ja keskeisimmät sopeutumishaasteet. Vaikutusmekanismit ekosysteemeissä ovat monimutkaisia ja edelleen suurelta osin tuntemattomia, joten sopeutumistoimien onnistumiseksi tarvitaan vielä paljon tutkimusta ja jatkoselvityksiä eri aloilla.



ISBN 978-952-11-3932-1 (nid.)

ISBN 978-952-11-3933-8 (PDF)

ISSN 1238-7312 (pain.)

ISSN 1796-1637 (verkkoj.)

